11 марта

ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. **Л. А. Арцимович**, акад. **А. Г. Бетехтин**, акад. **С. А. Векшинский**, акад. **Б. А. Казанский**, акад. **А. Н. Колмогоров** (зам. главного редактора), акад. **С. А. Лебедев**, акад. **А. И. Опарин** (главный редактор), акад. **Е. Н. Павловский**, акад. **Л. И. Седов**, акад. **Н. М. Страхов**, акад. **А. Н. Фрумкин** (зам. главного редактора)

29-й ГОД ИЗДАНИЯ

1961

ТОМ 137, № 2

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА *Стр.*

В. И. Арнольд. Об устойчивости положения равновесия гамильтоновой системы обыкновенных дифференциальных уравнений в общем эллиптическом случае 255
В. А. Булавский. Итеративный метод решения задачи линейного программирования 258
М. К. Гавурин. Множество решений линейного дифференциального уравнения 261
С. П. Гейсберг. О некоторых свойствах методов суммирования 265
Ю. Л. Далецкий. Континуальные интегралы, связанные с некоторыми дифференциальными уравнениями и системами 268
В. А. Ильин. О системе классических собственных функций линейного самосопряженного эллиптического оператора с разрывными коэффициентами . . 272
А. А. Кириллов. Об одной задаче И. М. Гельфанда 276
М. А. Наймарк. Об изоморфных представлениях колец и групп 278
А. В. Погорелов. Об изометрическом погружении в целом двумерного риманова многообразия в трехмерное 282
О. С. Редозубова. Специальные виды пар T конгруэнций 284
Б. С. Стечкин и **С. Б. Стечкин.** Среднее квадратическое и среднее арифметическое 287
Д. С. Фаермарк. Алгоритм для установления тождества слов в нильпотентном произведении групп, заданных конечным числом образующих и определяющих соотношений 291

КИБЕРНЕТИКА И ТЕОРИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ

И. М. Гельфанд и **М. Л. Цетлин.** Принцип нелокального поиска в системах автоматической оптимизации 295

ГИДРОМЕХАНИКА

В. Л. Данилов. О движении границы раздела вязких жидкостей в узкой щели 299
Ю. П. Ладиков. Некоторые точные решения уравнений неустановившихся движений в магнитной гидродинамике 303

АСТРОНОМИЯ

Ю. Н. Парийский. Новый источник радиоизлучения на сантиметровых волнах 307

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА *Стр.*

Ф. А. Березин. Канонические преобразования операторов в представлении вторичного квантования 311

ФИЗИКА

М. И. Шахпаронов и **Д. К. Беридзе.** Релеевское рассеяние света в растворах ацетона в четыреххлористом углероде 315

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. Н. Павлова и **Л. А. Шрейнер.** Влияние скорости нагружения на пластичность мрамора при вдавливании 319

Н. С. Фастов. О деформации, развившейся в теле на стационарной стадии ползучести, и переходе микроползучести в макроползучесть с точки зрения термодинамики необратимых процессов 323

ГЕОФИЗИКА

Г. С. Иванов-Холодный. Ионизация в земной ионосфере и энергия коротковолнового ультрафиолетового излучения Солнца 327

ХИМИЯ

И. Ф. Бельский и **Н. И. Шуйкин.** Превращение аминов фуранового ряда в гомологи пирролидина 331

Ю. А. Жданов и **Г. А. Корольченко.** Нитроэфиры С-замещенных углеводов 333

Г. Н. Знаменский, И. В. Гамали и **В. В. Стендер.** Особенности электроосаждения металлов из растворов «необычной» чистоты 335

Г. В. Одабашян, В. А. Пономарено, Ю. Н. Ковалев и **А. Д. Петров.** Кремнийорганические мономеры с фторсодержащими циклобутильными кольцами 338

Р. Х. Фрейдлина, В. Н. Кост, М. Я. Хорлина и **А. Н. Несмеянов.** Перегруппировки в процессе гомолитического присоединения бромистого водорода к полигалоидалкенам 341

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. Я. Гохштейн. К теории I — t-кривых при восстановлении анионов на капельном электроде в присутствии адсорбирующегося катализатора 345

Н. С. Дроздов. О природе индукционного периода автоокисления жиров и жирных кислот 349

Е. А. Пшеничнов и **Н. Д. Соколов.** Правило Поляни для переходов протона и водородная связь 352

И. Е. Старик, И. А. Скульский и **В. Н. Щебетковский.** Спектрофотометрическое изучение хлоридных растворов циркония в связи с адсорбцией его на фторопласте-4 356

А. Н. Харин и **Н. А. Катаева.** Механизм переноса йода при внутридиффузионной кинетике адсорбции его на углях из разных растворителей 359

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

П. П. Будников, С. М. Рояк и **А. М. Дмитриев.** К вопросу о составе вяжущего, твердеющего в условиях высоких температур и давлений 363

А. Т. Нижник. Амальгамный метод получения редких рассеянных металлов 366

Л. Н. Стесик, Л. Н. Акимова и **А. Я. Апин.** Определение ширины зоны реакции и параметров детонационной волны сплошного в. в. 369

ГЕОЛОГИЯ

Е. Ф. Белевич. Новокаспийские отложения в северо-западной части предустьевого пространства Волги 373

Л. Ю. Буданцев и **И. Н. Свешникова.** Новые палеоботанические находки на Западном Шпицбергене 377

В. П. Гричук. Предварительные данные палеоботанического изучения отложений молодого верхнеплейстоценового межледниковья на р. Балазне 380

А. В. Копелиович, И. Г. Лоджевский и **С. В. Тихомиров.** Новые данные о кристаллическом фундаменте северо-восточного Подмосковья 384

И. В. Маслова. Результаты спорово-пыльцевого анализа плиоценовых отложений Керченского полуострова 387

В. Н. Мошкин, В. Ф. Зубков и **В. В. Шиханов.** Новые данные о возрасте джургджурских анортозитов 391

А. А. Никонов. Различия в динамике и энергии северного и южного фронтов скандинавского ледникового покрова 394

А. И. Семенов и **Ю. М. Шувалов.** О возрасте Крык-Кудукской интрузии в Северном Казахстане 397

Стр.

М. Н. Чугаева. О палеозойских отложениях Верхнего Половинного камня (правый берег Колымы) 400
Ши Ян-шень. Отложения фаменского яруса в районе р. Белеуты (западная часть Центрального Казахстана) 403

ГЕОХИМИЯ

В. В. Аверьев, С. И. Набоко и Б. И. Пийп. Современный гидротермальный метаморфизм в областях активного вулканизма 407
В. З. Фурсов. Поиски слепых свинцово-цинковых месторождений по ореолам рассеяния ртути 411
А. П. Кузнецов. Материалы по зоогеографии прикамчатских вод Тихого океана и северных Курильских островов 415

ГИСТОЛОГИЯ

В. Б. Иванов. Применение проционовых красителей в гистохимии 419
А. А. Милохин. О новой особой форме интероцепторов пищеварительного тракта 422

ГЕНЕТИКА

Н. Н. Зоз. Изменчивость пырейно-пшеничных гибридов под воздействием химических мутагенов 426
М. А. Махалин. Распознавание полиплоидных растений у злаков по морфологическим признакам 428

ЭКОЛОГИЯ

Л. Л. Численко. О существовании «размерного разрыва» в морской фауне литорали и сублиторали 431

МИКРОБИОЛОГИЯ

Н. Б. Заварзина. Литический агент в культурах Chlorella pyrenoidosa Pringh 435

БИОФИЗИКА

Н. И. Нуждин, М. Д. Померанцева и Н. Н. Кузнецова. Сравнение однократного и фракционированного воздействия быстрых нейтронов на семенники мыши 438
Е. А. Пожидаев. Значение гормонов яичника в патогенезе лучевых эмбриопатий у крыс после рентгеновского облучения женских гамет 441

БИОХИМИЯ

Г. П. Серенков и Э. Пройсер. О взаимосвязи некоторых аминов с синтезом кофеина в листьях чая 445

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. А. Гаврилюк. Формирование цветка у некоторых растений юго-востока Чукотки 448
И. В. Карманова. Особенности семенного и вегетативного возобновления на вырубках таежной зоны 451

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. П. Кораблева. Действие облучения на анатомо-физиологические особенности точек роста клубней картофеля 454
А. И. Коровин, З. Ф. Сычева и З. А. Быстрова. Влияние температуры почвы на усвоение растениями фосфора 458

ФИТОПАТОЛОГИЯ

А. М. Вовк и Г. С. Никифорова. Вирус некроза огурца в электронном микроскопе 462

ЗООЛОГИЯ

З. С. Кауфман. Строение стигм Scolopendridae 464

ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОРФОЛОГИЯ

И. М. Медведева. К вопросу о происхождении хоан амфибий 468

ФИЗИОЛОГИЯ

А. А. Гюрджиан. Новые данные о физиологии свето- и цветочувствительности глаза, полученные в опытах с действием сантонина 472

Стр.

И. В. Скородумова. Морфологические изменения при дизентерийной интоксикации у животных разных типов нервной системы 476
В. Л. Цатуров. Реакция сосудов скелетной мускулатуры и тонкого кишечника при раздражении прессорного отдела бульбарного вазомоторного центра 480

ЭМБРИОЛОГИЯ

А. Л. Падучева. Изучение с помощью меченой серы роста шерсти у ягнят в утробном периоде и после рождения 484

CONTENTS

MATHEMATICS *Pages*

V. I. Arnol'd. The stability of the equilibrium position of a Hamiltonian system of ordinary differential equations in the general elliptic case 255
V. A. Bulavskii. Iteration method of solving the problem of linear programming 258
M. K. Gavurin. A set of solutions to a linear differential equation 261
S. P. Geisberg. Certain properties of summation methods 265
Iu. L. Daletskii. Continual integrals connected with some differential equations, individual and simultaneous 268
V. A. Il'in. A system of classic eigen functions of a linear self-adjoined elliptical operator with discontinuous coefficients 272
A. A. Kirillov. On a problem formulated by I. M. Gel'fand 276
M. A. Neimark. Isomorphous representations of rings and groups 278
A. V. Pogorelov. Isometric immersion in the large of a two-dimensional Riemannean manifold into three-dimensional 282
O. S. Redozubova. Special kinds of T congruence pairs 284
B. S. Stechkin, S. B. Stechkin. Mean square value and arithmetical mean . . 287
D. S. Faermark. An algorithm for establishing the identity of words in a nilpotent product of groups given by a finite number of generetrices and defining relations 291

CYBERNETICS AND THE REGULATION THEORY

I. M. Gel'fand, M. L. Tsetlin. The non-local search principle in automatic optimization systems 295

FLUID MECHANICS

V. L. Danilov. The movement of the separation boundary between two viscaus fluids in a narrow fissure 299
Iu. P. Ladikov. Some exact solutions of unsteady motion equations in magnetic hydrodynamics 303

ASTRONOMY

Iu. N. Pariiskii. A new source of centimetre radio - waves 307

MATHEMATICAL PHYSICS

F. A. Berezin. Standard transformations of operators in the representation of secondary quantization 311

PHYSICS

M. I. Shakhparonov, D. K. Beridze. Rayleigh light scattering in carbon tetrachloride solutions of acetone 315

TECHNICAL PHYSICS

N. N. Pavlova, L. A. Shreiner. The rate of loading as influencing the plasticity of marble in indentation tests 319
N. S. Fastov. The deformation developed in a body at the stationary stage of creep and the transition of microcreep to macrocreep, as viewed from the standpoint of the thermodynamics of irreversible processes 323

GEOPHYSICS

G. S. Ivanov-Kholodnyi. Ionization in the terrestrial atmosphere and the energy of Sun's short-wave ultraviolet radiation 327

CHEMISTRY

I. F. Bel'skii, N. I. Shuikin. Conversion of furan-series amines to pyrrolidine homologues 331

Pages

Iu. A. Zhdanov, G. A. Korolchenko. Nitroethers of C-substituted carbohydrates 333
G. N. Znamenskii, I. V. Gamali, V. V. Stender. Some features of the electrodeposition of metals from solutions of extraordinary purity 335
G. V. Odabashian, V. A. Ponomarenko, Iu. N. Kovalev, A. D. Petrov. Organosilicon monomers with fluorine-containing cyclobutyl rings 338
R. Kh. Freidlina, V. N. Kost, M. J. Khorlina, A. N. Nesmeyanov. Regrouping in the process of homolitic addition of hydrogen bromide to polyhalogenalkenes 341

HYSICAL CHEMISTRY

A. J. Gochstein. On the theory of $I - t$-curves in the reduction of anions on a drop electrode with catalyst adsorption 345
I. S. Drozdov. On the nature of the induction period in the auto-oxidation of fats and fatty acids 349
E. A. Pshenichnov, N. D. Sokolov. Polani's rule for proton transitions and the hydrogen bond 352
I. E. Starik, I. A. Skul'skii, V. N. Shchebetkovskii. A spectrophotometric study of zirconium chloride solutions in connection with the adsorption of zirconium on fluoroplast-4 356
A. N. Kharin, N. A. Kataeva. Iodine transfer mechanism with internal diffusion kinetics of iodine adsorption on charcoals from various solvents 359

HEMICAL TECHNOLOGY

P. P. Budnikov, S. M. Roiak, A. M. Dmitriev. On the composition of a cementing mortar hardening at high temperatures and high pressures 363
A. T. Nizhnik. The amalgam method for the recovery of rare dispersed metals . . 366
L. N. Stesik, L. N. Akimova, A. J. Apin. Determination of the reaction zone breadth and detonation wave constants for a continuous explosive 369

EOLOGY

E. F. Belevich. New-Caspian deposits in the north-western part of the near-estuarine beach of the Volga river 373
L. Iu. Budantsev, I. N. Sveshnikova. Recent paleobotanic founds on the West Spitsbergen island 377
V. P. Grichuk. Preliminary data of paleobotanic investigation of deposits of juvenile Upper Pleistocene interglaciation at the Balazna river 380
A. V. Kopeliovich, I. G. Lodzhevskii, S. V. Tikhomirov. Recent data on the crystalline foundation of North-East environs of Moscow 384
I. V. Maslova. The results of spore and pollen analysis of Pliocene deposits of the Kertch peninsula 387
V. N. Moshkin, V. F. Zubkov, V. V. Shikhanov. Recent data on the growth of the Jugjur anorthosites 391
A. A. Nikonov. Differences in the dynamics and energy of the northern and southern front of the ice cape of Scandinavia 394
A. I. Semenov, Iu. M. Shuvalov. On the age of the Kryk-Kuduk intrusion in North Kazakhstan 397
M. N. Chugaeva. On Paleozoic deposits of the Verkhni Polovinny Kamen (right bank of the Kalyma river) 400
Shi Ian-shen. Deposits of the Famennian stage in the region of the Beleuta river 403

EOCHEMISTRY

V. V. Averiev, S. I. Naboko, B. I. Piip. Modern hydrothermal metamorphism in areas of active vulcanism 407
V. Z. Fursov. Search for blind lead-zinc deposits according to mercury dispersion aureoles 411
A. P. Kuznetsov. Data concerning the zoogeography of the Pacific along the coast of Kamchatka and of North Kuril islands 415

ISTOLOGY

V. B. Ivanov. On the use of procion dyes in histochemistry 419
A. A. Milokhin. On a new particular form of interoceptors of the digestive tube 422

ENETICS

N. N. Zoz. Variation in agropyrum-wheat hybrids, induced by treatment with chemical mutagenic agents 426
M. A. Makhalin. Identification of polyploid individuals among grasses according to their morphological characters 428

ECOLOGY Page

L. L. Chislenko. On the existence of dimensional gap in the marine fauna of the littoral and sublittoral 431

MICROBIOLOGY

N. B. Zavarzina. The lytic agent in cultures of Chloreila pyrenoidosa Pringh . . 433

BIOPHYSICS

N. I. Nuzhdin, M. D. Pomerantseva, N. N. Kuznetsova. A comparative study of single and fractionated effect of rapid neutrons on testes in mice 438

E. A. Pozhidaev. The role of ovarial hormones in the pathogenesis of ray- damages in rat embryos resulting from X-raying of their female gametes . . . 441

BIOCHEMISTRY

G. P. Serenkov, E. Proiser. On the correlation of certain amines, and the synthesis of caffeine in leaves of the tea-plant 445

PLANT ECOLOGY

V. A. Gavriluk. Flower formation in certain plants of the South-East of Chukotka 448

I. V. Karmanova. Peculiar features in seed- and vegetative reforestation on felling areas of the taiga zone 451

PLANT PHYSIOLOGY

N. P. Korableva. The effect of irradiation on the anatomical-physiological peculiarities of the apical point in potato tubers 454

A. I. Korovin, Z. F. Sycheva, Z. A. Bystrova. The effect of soil temperature on the assimilation of phosphorus by plants 458

PHYTOPATHOLOGY

A. M. Vovk, G. S. Nikiforova. The virus of cucumber necrosis, viewed in the electron microscope 462

ZOOLOGY

Z. S. Kaufman. The structure of stigmata in Scolopendridae 464

EVOLUTIONAL MORPHOLOGY

I. M. Medvedeva. A contribution to the problem of choanas in amphibians . . . 468

PHYSIOLOGY

A. A. Gurjian. Recent data on the physiology of light- and colour sensitivity of the eye, secured from experiments involving the effect of santonin . . . 472

I. V. Skorodumova. Morphological changes observed in animals of different nervous system types in the case of dysenteric intoxication 476

V. L. Tsaturov. Vasal responses of skeletal musculature and small intestine in the case of irritation of the pressory area of the bulbar vasomotor centre . 480

EMBRYOLOGY

A. L. Paducheva. The growth of the wooly covering of young sheep at the embryonic period and after birth studied with the aid of labelled sulphur 484

Т-03428 Подписано к печати 10/III—1961 г. Тираж 5130 экз. Зак. 1417
Формат бумаги 70×108 1/16, Бум. л. 7 1/2. Печ. л. 20,55+3 вклейки. Уч.-изд. л. 21,4

2-я типография Издательства Академии наук СССР, Москва, Шубинский пер., 10

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

В. И. АРНОЛЬД

ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ГАМИЛЬТОНОВОЙ СИСТЕМЫ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ОБЩЕМ ЭЛЛИПТИЧЕСКОМ СЛУЧАЕ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 9 XII 1960)

§ 1. Пусть точка $p = q = 0$ есть неподвижная точка системы

$$\dot{q} = \frac{\partial H}{\partial p}, \quad \dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q}, \tag{1}$$

где $H(p, q, t)$ — аналитическая по p, q, t функция, периодическая по t с периодом 2π. Эллиптическим называется случай, когда это положение равновесия устойчиво в первом (линейном) приближении. Тогда, как показал Биркгоф ([1]), при надлежащем выборе переменных p, q функция Гамильтона имеет вид

$$H = \lambda r + c_2 r^2 + \ldots + c_n r^n + \widetilde{H}(p, q, t), \tag{2}$$

где $2r = p^2 + q^2$, $\widetilde{H} = O(r^{n+1})$ — аналитическая функция p, q, t и $n \geqslant 2$ произвольно. Общим эллиптическим назовем случай, когда среди постоянных c_l $(2 \leqslant l < \infty)$ есть отличная от нуля.

§ 2. Известны примеры, когда положение равновесия неустойчиво, а λ рационально ([2]). Мы рассмотрим случай иррационального λ. Обозначим Λ_K множество таких λ, что неравенства

$$|\lambda n - m| > \frac{K}{(|m| + |n|)^2} \tag{3}$$

выполнены при всех целых m, $n > 0$. Обозначим Λ объединение точек плотности всех множеств Λ_K. Как известно, дополнение к Λ на прямой имеет меру нуль ([3]).

Теорема 1. *Если $\lambda \in \Lambda$, то положение равновесия 0, 0 системы уравнений (1) с функцией Гамильтона $H(p, q, t)$ общего эллиптического типа (2) устойчиво.*

Теорема 2. *В условиях теоремы 1 в любой окрестности окружности $p = q = 0$ пространства p, q, t имеется аналитический инвариантный тор T_μ с уравнением $r = r(\varphi, t)$ $\left(\varphi = \operatorname{arctg} \frac{p}{q}\right)$. На торе T_μ можно ввести аналитическую координату $\psi(\varphi, t)$ так, что уравнения (1) на торе T_μ примут вид $\dot{\psi} = \mu$. Множество, образованное торами T_μ, имеет положительную меру в пространстве p, q, t.*

Теорема 3. *Пусть функция Гамильтона имеет вид*

$$H(r, \varphi, t) = H_0(r) + \widetilde{H}(r, \varphi, t), \tag{4}$$

где $dH_0/dr = \mu + \Omega(r)$, $\mu \in \Lambda_K$, $\Omega(0) = 0$ и функция

$$\widetilde{H} = \sum_{m^2+n^2 \neq 0} H_{mn}(r)\, e^{i(m\varphi + nt)}$$

при $|\operatorname{Im} \varphi, t| \leqslant \rho$, $|r| \leqslant \rho_r = \delta^k$ аналитична и удовлетворяет неравенству

$$|\widetilde{H}| \leqslant M = \delta^N, \tag{5}$$

а функция $\Omega(r)$ *при* $|r| \leqslant \rho_r$ *аналитична и*

$$\delta^a = \theta \leqslant \left|\frac{d\Omega}{dr}\right| \leqslant \Theta = \delta^{-b}.$$

Здесь $\delta > 0$ *— некоторая постоянная;* N, k, a, b *— натуральные числа. Если выполнены неравенства*

$$2k + 28 + 2a + 4b < N < 3k - 14 - 2b;$$
$$\delta < 10^{-6} K^2; \quad \delta < 0{,}1 \rho, \tag{7}$$

то существуют функции $R(\varphi, t)$, $\Psi(\varphi, t)$ *периода* 2π *по* φ *и* t, *аналитические при* $|\operatorname{Im} \varphi, t| \leqslant 0{,}1 \rho$ *и такие, что на торе* $r = R(\varphi, t)$ *из уравнений*

$$\dot{\varphi} = \frac{\partial H}{\partial r}, \quad \dot{r} = -\frac{\partial H}{\partial \varphi}$$

следует $\dot{\psi} = \mu$ (*здесь* $\psi = \varphi + \Psi$).

Теорема 1 вытекает из теоремы 2, так как торы T_μ отделяют окружность $r = 0$ от остальной части пространства p, q, t. Теорема 2 вытекает из теоремы 3: нетрудно видеть, что в условиях теоремы 2 существуют сколь угодно малые торовидные кольца $|r - r_0| \leqslant \rho_r$ вокруг окружности $r = 0$, к которым применима теорема 3, если за переменное r в ней принять $r - r_0$.

§ 3. Последние две теоремы обобщаются на системы с n степенями свободы. Однако получающиеся инвариантные $(n+1)$-мерные торы не делят $(2n+1)$-мерное фазовое пространство p, q, t, и вопрос об устойчивости остается открытым. Аналогичные теоремы можно доказать и об окрестности положения равновесия автономной гамильтоновой системы. В этом случае в $(2n-1)$-мерных многообразиях $H(p, q) = h$ лежат торы размерности n. Отсюда следует:

Теорема 4. *Положение равновесия автономной системы уравнений Гамильтона с двумя степенями свободы в общем эллиптическом случае устойчиво, если* $\lambda_2/\lambda_1 \in \Lambda$.

Общим эллиптическим случаем называем здесь тот, когда аналитическая функция H в надлежащих координатах имеет вид [1]

$$H(p_1, p_2, q_1, q_2) = \lambda_1 r_1 + \lambda_2 r_2 + H_0(r_1, r_2) + \widetilde{H}(p_1, p_2, q_1, q_2),$$

где $H_0(r_1, r_2) = \sum_{i+j=2}^{n} c_{ij} r_1^i r_2^j$, $\widetilde{H} = O(r_1 + r_2)^{n+1}$, $2r_i = p_i^2 + q_i^2$ и $h(\varepsilon) = H_0(\varepsilon\lambda_2, -\varepsilon\lambda_1)$ не обращается тождественно в нуль.

Можно также показать, что любое аналитическое каноническое отображение плоскости на себя вблизи неподвижной точки общего эллиптического типа устойчиво, если его число вращения $\lambda \in \Lambda$. Теоремы 2 и 3 допускают соответствующее обобщение даже в многомерном случае.

§ 4. Наметим теперь доказательство теоремы 3. Она является усилением теоремы А. Н. Колмогорова о сохранении условно периодических движений при малом изменении функции Гамильтона [4]. Инвариантный тор отыскивается, как и в работе А. Н. Колмогорова, последовательными приближениями типа метода Ньютона. Этот метод дает столь быструю сходимость, что ее не могут разрушить появляющиеся в формуле (9) малые знаменатели.

Основная лемма. *В предположениях* (4) — (7) *теоремы* 3 *существуют такая аналитическая функция* $\widetilde{F}(\bar{r}', \varphi, t) = \sum_{m^2+n^2 \neq 0} F_{mn}(\bar{r}') e^{i(m\varphi + nt)}$ *и такое число* $\bar{r}^*$, *что каноническое преобразование*

$$\bar{\varphi} = \varphi + \partial\widetilde{F}/\partial\bar{r}', \quad \bar{r} = \bar{r}' - \bar{r}^*, \quad r = \bar{r}' + \partial\widetilde{F}/\partial\varphi$$

приводит функцию Гамильтона (4) *к виду* $\bar{H}(\bar{r}, \bar{\varphi}, t) = \bar{H}_0 + \bar{\bar{H}}$, *где* $d\bar{H}_0 / d\bar{r} = \mu + \bar{\Omega}(\bar{r})$, $\bar{\Omega}(0) = 0$, *и функция*

$$\bar{\bar{H}}(\bar{r}, \bar{\varphi}, t) = \sum_{m^2+n^2 \neq 0} \bar{H}_{mn}(\bar{r})\, e^{i(m\bar{\varphi}+nt)}$$

при $|\operatorname{Im} \bar{\varphi}, t| \leqslant \bar{\rho} = \rho - 3\delta$, $|\bar{r}| \leqslant \bar{\rho}_r = \bar{\delta}^k$ *аналитична и удовлетворяет неравенству*

$$|\bar{\bar{H}}| \leqslant \bar{M} = \bar{\delta}^N,$$

$\bar{\Omega}(\bar{r})$ *при* $|\bar{r}| \leqslant \bar{\rho}_r$ *аналитична и*

$$\bar{\delta}^a = \bar{\theta} \leqslant \left|\frac{d\bar{\Omega}}{d\bar{r}}\right| \leqslant \bar{\Theta} = \bar{\delta}^{-b}.$$

В этих формулах $\bar{\delta} = \delta^{1^1/_2}$.

Теорема 3 выводится из основной леммы без особого труда, так как погрешность s-го приближения M_s не более $M^{(1^1/_2)^s}$.

Не имея возможности привести здесь доказательство основной леммы, укажу лишь способ построения $\tilde{F}$ и $\bar{r}^*$. Как известно, $\bar{H}(\bar{r}, \bar{\varphi}, t) = \bar{H}'(\bar{r}', \bar{\varphi}, t) = \hat{H}(\bar{r}', \varphi, t)$, где обозначено

$$\hat{H}(\bar{r}', \varphi, t) = H(r(\bar{r}', \varphi, t), \varphi, t) + \frac{\partial \tilde{F}(\bar{r}', \varphi, t)}{\partial t}.$$

Очевидно,

$$\hat{H}(\bar{r}', \varphi, t) = H_0(\bar{r}') + \hat{S}_1 + \hat{S}_2 + \hat{S}_3,$$

где

$$\hat{S}_1(\bar{r}', \varphi, t) = \mu \frac{\partial \tilde{F}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tilde{F}}{\partial t} + \tilde{H};$$

$$\hat{S}_2(\bar{r}', \varphi, t) = H_0(r) - H_0(\bar{r}') - \mu(r - \bar{r}'), \quad |\hat{S}_2| = |\Omega| \left|\frac{\partial \tilde{F}}{\partial \varphi}\right|; \qquad (8)$$

$$\hat{S}_3(\bar{r}', \varphi, t) = \tilde{H}(r) - \tilde{H}(\bar{r}'), \quad |\hat{S}_3| = \left|\frac{\partial \tilde{H}}{\partial r}\right| \left|\frac{\partial \tilde{F}}{\partial \varphi}\right|.$$

Функция $\tilde{F}$ определяется из условия $\hat{S}_1 \equiv 0$:

$$F_{mn} = \frac{iH_{mn}}{\mu m + n}. \qquad (9)$$

Переходя к переменным $\bar{r}', \bar{\varphi}, t$, находим

$$\bar{H}'(\bar{r}', \bar{\varphi}, t) = H_0'(\bar{r}') + S_{2_0}(\bar{r}') + S_{3_0}(\bar{r}') + \bar{\bar{H}}'(\bar{r}', \bar{\varphi}, t) = \bar{H}_0' + \bar{\bar{H}}',$$

где $\bar{\bar{H}}'(\bar{r}', \bar{\varphi}, t) = \tilde{S}_2 + \tilde{S}_3$ объединяет переменные члены рядов Фурье по φ, t функций

$$S_i(\bar{r}', \bar{\varphi}, t) = \tilde{S}_i + S_{i_0}(\bar{r}') = \hat{S}_i(\bar{r}', \varphi(\bar{r}', \bar{\varphi}, t), t), \quad (i = 2, 3).$$

Теперь $\bar{r}^*$ определяется из уравнения

$$\left.\frac{d\bar{H}_0'}{d\bar{r}'}\right|_{\bar{r}^*} = \mu.$$

При этом для оценки $\bar{r}^*$ используется неравенство (6).

При выполнении неравенств (7) величина $\bar{\bar{H}}$, оцененная по формулам (8), не превосходит $M^{1^1/_2} = \bar{M}$.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
26 XI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Дж. Д. Биркгоф, Динамические системы, М., 1941, гл. III. [2] T. Levi-Civita, Ann. Math. Pura, Appl., (3), 5, 221 (1901). [3] А. Я. Хинчин, Цепные дроби, М., 1949, § 14. [4] А. Н. Колмогоров, ДАН, 98, № 4, 527 (1954).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

В. А. БУЛАВСКИЙ

ИТЕРАТИВНЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 28 XI 1960)

Пусть R_n — n-мерное эвклидово пространство, состоящее из векторов $h = (h^{(1)}, h^{(2)}, \ldots, h^{(n)})$. Задачу линейного программирования поставим следующим образом. Задана система линейных неравенств

$$\sum_{j=1}^{n} a_j^{(i)} h^{(j)} \geqslant p^{(i)}, \quad i = 1, 2, \ldots, m;$$

$$h^{(j)} \geqslant 0, \; j = 1, 2, \ldots, n, \tag{1}$$

где $a_j^{(i)}$, $p^{(i)}$ — данные числа. Кроме того, задан вектор $c \in R_n$. Система (1) определяет замкнутое выпуклое множество $Q \subset R_n$. Требуется найти вектор $h_0 \in Q$ такой, что $(c, h_0) \leqslant (c, h)$ для всех $h \in Q$. Эту задачу будем называть задачей I.

Кроме нее поставим еще задачу II: найти вектор $h_\sigma \in Q$ такой, что $(c + \sigma Bh_\sigma, h_\sigma) \leqslant (c + \sigma Bh_\sigma, h)$ для всех $h \in Q$. Здесь B — заданная матрица и число $\sigma > 0$.

Предлагаемый способ решения задачи I заключается в замене ее задачей II при некотором малом σ и специально выбранной матрице B. Для решения последней задачи строится итеративный процесс.

Лемма. *Если Q' — непустое, ограниченное, выпуклое, замкнутое множество в R_n; F — непрерывная операция из Q' в R_n, то существует вектор $h' \in Q'$ такой, что $(Fh', h') \leqslant (Fh', h)$ при всех $h \in Q'$.*

Доказательство этого утверждения можно получить, изменив незначительно рассуждения в теореме 3 из [3].

Теорема 1. *Если существует вектор h_0, решающий задачу* I, *и матрица B положительно-определенная: $(Bh, h) \geqslant \gamma \|h\|^2$, то при любом $\sigma > 0$ существует вектор h_σ, решающий задачу* II, *причем $\|h_\sigma\| \leqslant \frac{\|B\|}{\gamma} \|h_0\|$.*

Доказательство. Присоединим к (1) неравенство

$$\sum_{j=1}^{n} h^{(j)} \leqslant \frac{\sqrt{n}}{\gamma} \|B\| \cdot \|h_0\| + 1.$$

Полученная таким образом система неравенств определяет область Q'. По лемме найдется вектор $h_\sigma \in Q'$ такой, что $(c + \sigma Bh_\sigma, h_\sigma) \leqslant (c + \sigma Bh_\sigma, h)$ для всех $h \in Q'$. Так как $h_0 \in Q'$, имеем $(c + \sigma Bh_\sigma, h_\sigma) \leqslant (c + \sigma Bh_\sigma, h_0)$. Учитывая, что $(c, h_0) \leqslant (c, h_\sigma)$, получим $\sigma\gamma \|h_\sigma\|^2 \leqslant \sigma (Bh_\sigma, h_\sigma) \leqslant \sigma (Bh_\sigma, h_0) \leqslant \sigma \|B\| \, \|h_\sigma\| \, \|h_0\|$,

$$\|h_\sigma\| \leqslant \frac{\|B\|}{\gamma} \|h_0\|. \tag{2}$$

Покажем, что h_σ решает задачу II. Если $h \in Q'$, то, по построению h_σ, имеем $(c + \sigma Bh_\sigma,\ h_\sigma) \leqslant (c + \sigma\, Bh_\sigma,\ h)$. Пусть $h \in Q \setminus Q'$. Из (2) получаем $\sum\limits_j h_\sigma^{(j)} \leqslant \sqrt{n}\,\|h_\sigma\| \leqslant \sqrt{n}\,\frac{\|B\|}{\gamma}\,\|h_0\|$. Следовательно, $\Delta = \sum\limits_j h^{(j)} - \sum\limits_j h_\sigma^{(j)} > 1$. Положим $\lambda = 1 : \Delta$ и $h' = \lambda h + (1 - \lambda)\, h_\sigma$. Нетрудно убедиться, что $h' \in Q'$ и, следовательно, $(c + \sigma\, Bh_\sigma,\ h_\sigma) \leqslant (c + \sigma Bh_\sigma,\ h')$. Подставив вместо h' его выражение, получим $(c + \sigma\, Bh_\sigma,\ h_\sigma) \leqslant (c + \sigma\, Bh_\sigma,\ h)$. Этим теорема доказана.

Следствие. Так как вектор h_σ решает задачу минимизации функционала $L(h) = (c + \sigma\, Bh_\sigma,\ h)$, то ([1], [2]) в условиях теоремы 1 существует вектор $v_\sigma = (v_\sigma^{(1)},\ v_\sigma^{(2)},\ \ldots,\ v_\sigma^{(m)})$ такой, что

$$\sum_{i=1}^{m} a_j^{(i)} v_\sigma^{(i)} \leqslant c^{(j)} + \sigma\,(Bh_\sigma)^{(j)}, \quad \text{если } h_\sigma^{(j)} = 0;$$

$$\sum_{i=1}^{m} a_j^{(i)} v_\sigma^{(i)} = c^{(j)} + \sigma\,(Bh_\sigma)^{(j)}, \quad \text{если } h_\sigma^{(j)} > 0; \qquad (3)$$

$$v_\sigma^{(i)} \geqslant 0, \quad i = 1, 2, \ldots, m;$$

$$v_\sigma^{(i)} = 0, \quad \text{если } \sum_{j=1}^{n} a_j^{(i)} h_\sigma^{(j)} > p^{(i)}.$$

Теорема 2. *Справедливы следующие утверждения*:

а) *решение задачи* II *единственно*;

б) *при* $\sigma > 0$ h_σ *непрерывно зависит от* σ;

в) *если* $\sigma < \sigma'$, *то* $(c, h_\sigma) \leqslant (c, h_{\sigma'})$;

г) *существует* $\sigma_0 > 0$ *такое, что при* $\sigma \leqslant \sigma_0$ *вектор* h_σ *является решением задачи* I.

Доказательство опускаем.

Обозначим $a_j = (a_j^{(1)},\ a_j^{(2)},\ \ldots,\ a_j^{(m)})$, $p = (p^{(1)},\ p^{(2)},\ \ldots,\ p^{(m)})$ и предположим, что все $a_j \neq 0$, $j = 1, 2, \ldots, n$. В качестве B возьмем треугольную матрицу, у которой выше главной диагонали стоят нули, а (μ, ν)-й элемент $(\nu \leqslant \mu)$ равен $(a_\mu,\ a_\nu)$. Для этой матрицы $(Bh,\ h) \geqslant \gamma \|h\|^2$, где $2\gamma = \min \|a_j\|^2$.

Из первых двух соотношений (3) найдем

$$h_\sigma^{(j)} = \begin{cases} \dfrac{(v_{\sigma,\, j-1},\ a_j) - c^{(j)}}{\sigma \|a_j\|^2}, & \text{если } (v_{\sigma,\, j-1},\ a_j) \geqslant c^{(j)}; \\ 0, & \text{если } (v_{\sigma,\, j-1},\ a_j) < c^{(j)}, \end{cases} \qquad (4)$$

где $v_{\sigma,\, j-1} = v_\sigma - \sigma \sum\limits_{\nu=1}^{j-1} h_\sigma^{(\nu)} a_\nu$. Положим $v'_\sigma = v_{\sigma,\, n} + \sigma p$. Из (1) и последних двух соотношений (3) заключаем, что

$$v_\sigma^{(i)} = \begin{cases} v_\sigma'^{(i)}, & \text{если } v_\sigma'^{(i)} \geqslant 0; \\ 0, & \text{если } v_\sigma'^{(i)} < 0. \end{cases}$$

Построим теперь следующий итеративный процесс:

I. $$v_{k,\,0} = v_k.$$

II. $$h_k^{(j)} = \begin{cases} \dfrac{(v_{k,\, j-1},\ a_j) - c^{(j)}}{\sigma \|a_j\|^2}, & \text{если } (v_{k,\, j-1},\ a_j) \geqslant c^{(j)}; \\ 0, & \text{если } (v_{k,\, j-1},\ a_j) < c^{(j)}; \end{cases} \qquad (4')$$

$$v_{k,\, j} = v_{k,\, j-1} - \sigma h_k^{(j)} a_j.$$

III. $$v'_k = v_{k,n} + \sigma p.$$

IV. $$v^{(i)}_{k+1} = \begin{cases} v'^{(i)}_k, & \text{если } v'^{(i)}_k \geqslant 0; \\ 0, & \text{если } v'^{(i)}_k < 0. \end{cases}$$

V. $(v^{(1)}_{k+1}, v^{(2)}_{k+1}, \ldots, v^{(m)}_{k+1}) = v_{k+1}, \quad (h^{(1)}_k, h^{(2)}_k, \ldots, h^{(n)}_k) = h_k.$

Положим $\Delta^{(j)}_\sigma = \sigma \|a_j\|^2 h^{(j)}_\sigma - (v_{\sigma, j-1}, a_j) + c^{(j)}$; $\Delta^{(j)}_k = \sigma \|a_j\|^2 h^{(j)}_k - (v_{k, j-1}, a) + c^{(j)}$. Из (4) и (4′) заключаем, что $\Delta^{(j)}_\sigma \geqslant 0$, $\Delta^{(j)}_k \geqslant 0$, $h^{(j)}_\sigma \Delta^{(j)}_\sigma = h^{(j)}_k \Delta^{(j)}_k = 0$. Следовательно, $(h^{(j)}_k - h^{(j)}_\sigma)(\Delta^{(j)}_k - \Delta^{(j)}_\sigma) = -(\Delta^{(j)}_k h^{(j)}_\sigma + \Delta^{(j)}_\sigma h^{(j)}_k) \leqslant 0$.

Далее, $\|v_{k,j} - v_{\sigma,j}\|^2 = \|v_{k,j-1} - v_{\sigma,j-1} - \sigma h^{(j)}_k a_j + \sigma h^{(j)}_\sigma a_j\|^2 = \|v_{k,j-1} - v_{\sigma,j-1}\|^2 - \sigma^2 \|a_j\|^2 (h^{(j)}_k - h^{(j)}_\sigma)^2 + 2\sigma (h^{(j)}_k - h^{(j)}_\sigma)(\Delta^{(j)}_k - \Delta^{(j)}_\sigma)$.

Обозначив $\tau = \sigma^2 \min \|a_j\|^2$, получим $\|v_{k,j} - v_{\sigma,j}\|^2 \leqslant \|v_{k,j-1} - v_{\sigma,j-1}\|^2 - \tau (h^{(j)}_k - h^{(j)}_\sigma)^2$. Складывая эти неравенства для $j = 1, 2, \ldots, n$, получаем $\|v_{k,n} - v_{\sigma,n}\|^2 \leqslant \|v_{k,0} - v_{\sigma,0}\|^2 - \tau \|h_k - h_\sigma\|^2$. Далее, $\|v_{k+1} - v_\sigma\|^2 \leqslant \|v'_k - v'_\sigma\|^2 = \|v_{k,n} - v_{\sigma,n}\|^2 \leqslant \|v_{k,0} - v_{\sigma,0}\|^2 - \tau \|h_k - h_\sigma\|^2 = \|v_k - v_\sigma\|^2 - \tau \|h_k - h_\sigma\|^2$. Применив полученное неравенство для меньших k, мы получим

$$\|v_{k+1} - v_\sigma\|^2 \leqslant \|v_0 - v_\sigma\|^2 - \tau \sum_{\nu=0}^{k} \|h_\nu - h_\sigma\|^2.$$

Поскольку $\tau > 0$, то отсюда заключаем, что $h_\nu \to h_\sigma$ при $\nu \to \infty$.

Таким образом, мы показали, что предложенный итеративный процесс дает в пределе решение задачи II, которая, в свою очередь, приближает задачу I, как это следует из теорем 1 и 2. Можно показать, что и последовательность $\{v_k\}$ также сходится к некоторому вектору $\bar{v}_\sigma$, удовлетворяющему системе неравенств, аналогичной (3).

Ленинградское отделение
Математического института им. В. А. Стеклова
Академии наук СССР

Поступило
19 XI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. В. Канторович, ДАН, 115, № 3, 441 (1957). [2] Л. В. Канторович, Экономический расчет наилучшего использования ресурсов, Изд. АН СССР, 1959. [3] Г. У. Кун, Сборн. пер. Линейные неравенства, ИЛ, 1959, стр. 363—371.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

М. К. ГАВУРИН

МНОЖЕСТВО РЕШЕНИЙ ЛИНЕЙНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО УРАВНЕНИЯ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 20 X 1960)

1°. Настоящая заметка посвящена описанию всех (непрерывных и имеющих ограниченную вариацию) решений следующих уравнений:

$$M'(t) = A(t)\,M(t) \qquad \text{п. в.} \tag{1}$$

при начальном условии

$$M(a) = M_0 \tag{2}$$

и

$$x'(t) = A(t)\,x(t) \qquad \text{п. в.} \tag{3}$$

при начальном условии

$$x(a) = x_0. \tag{4}$$

Здесь t — вещественный аргумент, пробегающий конечный промежуток $[a, b]$; значения $x(t)$ принадлежат пространству Банаха X; значения $M(t)$ и $A(t)$ — нормированному кольцу U с единицей. При рассмотрении уравнения (3) мы полагаем $U = \{X \to X\}$ — кольцо ограниченных линейных операторов из X в X.

Если Y — некоторое пространство Банаха, то $CV[Y]$ будет обозначать класс всех непрерывных и имеющих ограниченную вариацию на $[a, b]$ функций со значениями в Y; $S[Y]$ — класс всех сингулярных на $[a, b]$ функций, аннулирующихся при $x = a$ *.

2°. Пусть $G_0(t) = \int_a^t A(\tau)\,d\tau$ и $G(t) = G_0(t) + H(t)$, где $H \in S[U]$. Образуем мультипликативный интеграл Стилтьеса

$$M(t) = \prod_a^t (E + dG) = \lim \prod_{i=0}^{n-1} (E + \Delta G(t_i)), \tag{5}$$

где имеется в виду предел риманова типа и сомножители в произведении $\prod_{i=0}^{n-1}$ выписываются в порядке возрастания номеров справа налево. Интеграл этот для функции $G \in CV[U]$ всегда существует. $G(t)$ однозначно восстанавливается по $M(t)$ с помощью формулы $G(t) = \int_a^t dM\,M^{-1}$ (см. (2)).

Функции $G(t)$ и $M(t)$ абсолютно непрерывны или сингулярны лишь одновременно и лишь одновременно имеют производную при заданном значении t.

---

* Непрерывность понимается в смысле топологии, порождаемой нормой. Ограниченность вариации функции $y(t)$ — ограниченность сумм $\Sigma \|y(t_{i+1}) - y(t_i)\|$. Функция $y(t)$ сингулярна, если она принадлежит $CV[Y]$, $y'(t) = 0$ п. в. и $y(t) \neq \text{const}$. Производные, фигурирующие в (1) и (3), понимаются в смысле сходимости по норме.

$M(t)$ удовлетворяет уравнению (1) и начальному условию

$$M(a) = E. \tag{6}$$

Любое решение задачи (1), (6), принадлежащее $CV[U]$, имеет вид (5), и, следовательно, общее решение этой задачи зависит от произвольной нормированной сингулярной функции $H(t)$ со значениями в U.

Для общего (в классе $CV[U]$) решения $\bar{M}(t)$ уравнения (1) при нулевом начальном условии можно дать два представления:

$$\bar{M}(t) = \prod_a^t (E + dG) - \prod_a^t (E + dG_0), \tag{7}$$

$$M(t) = \int_a^t \prod_s^t (E + dG_0)\, dL(s) = L(t) + \int_a^t \prod_s^t (E + dG_0)\, A(s)\, L(s)\, ds, \tag{8}$$

где $L(s)$ — произвольная функция класса $S[U]$.

Замечание. Так как классы функций, представимых формулами (7) и (8), совпадают, то мы получаем одно-однозначное отображение $H \sim L$ класса $S[U]$ на себя. Это отображение задается интегральным уравнением

$$L(t) + \int_a^t \prod_s^t (E + dG_0)\, A(s)\, L(s)\, ds = \prod_a^t (E + dG) - \prod_a^t (E + dG_0). \tag{9}$$

Уравнение (9) легко решается: $L(t)$ есть сингулярная составляющая правой части. С учетом того, что каждый из двух членов в правой части удовлетворяет уравнению (1), получаем

$$L(t) = \left[\prod_a^t (E + dG) - \prod_a^t (E + dG_0)\right] - \int_a^t A(\tau)\left[\prod_a^\tau (E + dG) - \prod_a^\tau (E + dG_0)\right] d\tau. \tag{10}$$

Общее решение (в классе $CV[U]$) задачи (1), (2), имеет очевидно, представление

$$M(t) = \prod_a^t (E + dG_0)\, M_0 + \left[\prod_a^t (E + dG) - \prod_a^t (E + dG_0)\right]. \tag{11}$$

Встает вопрос: будет ли доставлять общее решение также выражение

$$M(t) = \prod_a^t (E + dG)\, M_0. \tag{12}$$

С помощью соотношения (9) показывается, что так будет тогда и только тогда, когда элемент M_0 имеет левый обратный.

Итак, справедливы две теоремы:

Теорема 1. *Общее решение в классе $CV[U]$ задачи* (1), (2) *есть* (11) *или, в другой форме,*

$$M(t) = \prod_a^t (E + dG_0)\, M_0 + L(t) + \int_a^t \prod_s^t (E + dG_0)\, A(s)\, L(s)\, ds. \tag{11'}$$

Здесь $G = G_0 + H$, функции $H(t)$ и $L(t)$ — произвольные функции класса $S[U]$, связь между которыми устанавливается формулами (9) *или* (10).

Теорема 2. *Для того чтобы формула* (12) *давала общее (в классе $CV[U]$) решение задачи* (1), (2), *необходимо и достаточно, чтобы элемент M_0 имел левый обратный.*

Замечание. Из приводимой ниже теоремы 3 следует, что при $M_0 \neq 0$ всякое (в классе $CV[U]$) решение задачи (1), (2) может быть представлено в форме (12), но с функцией $G(t)$, значения которой лежат в кольце $\{U \to U\}$, объемлющем U.

3°. Перейдем к задаче (3), (4), причем сохраним обозначения пункта 2°, приняв за U кольцо $\{X \to X\}$.

Общее решение в классе $CV[X]$ задачи (3), (4), как легко проверить, есть

$$x(t) = \prod_a^t (E + dG_0)\, x_0 + \zeta(t) + \int_a^t \prod_s^t (E + dG_0)\, A(s)\, \zeta(s)\, ds, \qquad (13)$$

где $\zeta(s)$ — произвольная функция класса $S[X]$. Если выбрать и зафиксировать $\bar{x} \in X$, $\bar{x} \neq 0$, то решением задачи (3), (4) будет также функция

$$x(t) = \prod_a^t (E + dG_0) x_0 + \left[L(t) + \int_a^t \prod_s^t (E + dG_0)\, A(s)\, L(s)\, ds \right] \bar{x}, \qquad (14)$$

где $L(t)$ — по-прежнему произвольная функция класса $S[U]$. Оказывается, что (14) есть общее (в классе $CV[X]$) решение задачи (3), (4).

(14) можно переписать в форме

$$x(t) = \prod_a^t (E + dG_0)\, x_0 + \left[\prod_a^t (E + dG) - \prod_a^t (E + dG_0) \right] \bar{x}, \qquad (15)$$

где $G = G_0 + H$ и $H \sim L$.

Если $x_0 \neq 0$, то в качестве $\bar{x}$ можно взять x_0. Следовательно, общее решение в классе $CV[X]$ задачи (3), (4) при $x_0 \neq 0$ есть

$$x(t) = \prod_a^t (E + dG) x_0. \qquad (16)$$

Итак, справедлива:

Теорема 3. *Общее решение в классе $CV[X]$ задачи* (3), (4) *есть* (15) *или, в другой форме,* (13). *Если $x_0 \neq 0$, то общее решение может быть также записано в форме* (16). *Здесь $\bar{x}$ — фиксированный элемент X, отличный от нулевого, $\zeta(s)$ — произвольная функция класса $S[X]$, $G = G_0 + H$ и $H(t)$ — произвольная функция класса $S[U]$.*

4°. Рассмотрим теперь уравнение «в дифференциалах»

$$dM(t) = dG(t)\, M(t), \qquad (17)$$

которому естественно придать такой смысл:

$$\| M(t+h) - M(t) - [G(t+h) - G(t)]\, M(t) \| = o\left(\operatorname*{V}_t^{t+h} G \right).$$

Уравнение (17) при начальном условии (6) эквивалентно интегральному уравнению

$$M(t) = E + \int_a^t dG\, M. \qquad (18)$$

Уравнение (18) рассматривалось Уоллом [1] (для конечномерного случая) и Мак Нерни [2]. Ими показано, что решение (18) существует, единственно и представимо в виде (5).

Вернемся к задаче (1), (6). Свяжем с функцией $A(t)$ семейство ее нормированных первообразных $G(t) = G_0(t) + H(t)$, где H пробегает $S[U]$. Зафиксировав выбор первообразной $G(t)$ и подставив ее в (17), мы получим уравнение в дифференциалах, решение которого будет и решением (1). Иначе говоря, уравнение (1) «расслаивается» в семейство уравнений (17). Выбирая первообразную $G(t)$ для подстановки в уравнение (17), мы тем самым выбираем одно из решений уравнения (1).

Случай задачи с произвольным начальным условием здесь никаких особенностей не имеет. Общее решение задачи (17), (2) есть (12). Отсюда следует, что если (17) порождено уравнением (1) и если M_0 не имеет левого обратного, то задача (1), (2) имеет решение, которое ни при каком выборе первообразной для $A(t)$ (в классе $CV[U]$) не будет решением задачи (17), (2) (ср. с замечанием к теореме 2).

Замечание. Уравнение (17) может не быть связанным с уравнением (1). Так будет, если непрерывная функция ограниченной вариации $G(t)$ не имеет производной п. в.

Аналогичным образом рассматривается уравнение

$$dx(t) = dG(t)\,x(t).$$

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
19 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] H. S. Wall, Arch. Math., 5, 1—3, 160 (1954). [2] J. S. MacNerney, Ann. Math., 61, 2, 354 (1954).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

С. П. ГЕЙСБЕРГ

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ МЕТОДОВ СУММИРОВАНИЯ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 15 X 1960)

Обозначения. $A = (a_{nk})$ — комплексная матрица; $A^{\varphi} = (a_{n\varphi_k})$ — подматрица матрицы A, у которой второй индекс пробегает значения подпоследовательности $\varphi = \{\varphi_k\}$ натуральных чисел. Если A — матрица (a_{nk}), то через A_1, A_2, A_3 обозначаются множества последовательностей $\xi = \{\xi_k\}$ комплексных чисел, для которых, соответственно *: $\sum_n \left| \sum_k a_{nk}\xi_k \right| < \infty$; $\sup_p \left| \sum_k a_{nk}\xi_k \right| < \infty$; последовательность $\eta = \{\eta_n\}$, $\eta_n = \sum_k a_{nk}\xi_k$, сходится. Далее, $Q = \{q_k(x)\}$ — последовательность функций, непрерывных на $[0, \infty)$; $Q^{\varphi} = \{q_{\varphi_k}(x)\}$ — ее подпоследовательность; Q_1, Q_2, Q_3 — множества последовательностей $\xi = \{\xi_k\}$, для которых соответственно: $\int_0^{\infty} \left| \sum q_k(x)\,\xi_k \right| dx < \infty$; $\sup_{0<\alpha<\beta<\infty} \left| \int_{\alpha}^{\beta} \left(\sum q_k(x)\,\xi_k \right) dx \right| < \infty$; существует $\lim_{\beta \to \infty} \int_0^{\beta} \left(\sum q_k(x)\,\xi_k \right) dx$.

Матрица A (последовательность Q) называется методом суммирования, множества A_3, A_2, A_1 (Q_3, Q_2, Q_1) называются, соответственно: полями суммируемости, ограниченности, абсолютной суммируемости.

Через c, c_0, m обозначены соответственно множества сходящихся, сходящихся к нулю, ограниченных последовательностей; e — множество последовательностей $\xi = \{\xi_k\}$, для которых $\sum |\xi_k| < \infty$.

Для матрицы A и последовательности $\xi = \{\xi_k\}$ мы положим

$$\|\xi\|^p_{A_1} = \sum_n \left| \sum_{k=p}^{\infty} a_{nk}\xi_k \right|; \quad \|\xi\|^p_{A_2} = \|\xi\|^p_{A_3} = \sup_n \left| \sum_{k=p}^{\infty} a_{nk}\xi_k \right|;$$

$$\|\xi\|^p_{A_1} = \sum_{k=p}^{\infty} |\xi_k|; \quad \|\xi\|^p_2 = \|\xi\|^p_3 = \sup_{k \geqslant p} |\xi_k|.$$

Аналогично для последовательностей Q и $\xi = \{\xi_k\}$ полагаем

$$\|\xi\|^p_{Q_1} = \int_0^{\infty} \left| \sum q_k(x)\,\xi_k \right| dx; \quad \|\xi\|^p_{Q_2} = \|\xi\|^p_{Q_3} = \sup_{0<\alpha<\beta<\infty} \left| \int_{\alpha}^{\beta} \left(\sum q_k(x)\,\xi_k \right) dx \right|.$$

В § 1 настоящей заметки мы получаем некоторые соотношения конкретных методов суммирования, § 2 посвящен изучению взаимоотношений полей различных методов суммирования. В § 3 мы приводим несколько свойств операторов в пространстве c_0, аналогичных свойствам матричных методов суммирования.

---

* Если пределы суммирования не обозначены, то суммирование производится по целым значениям индекса от 0 до ∞.

§ 1. Мы рассмотрим следующие методы:

1. Метод Чезаро порядка α, или метод (C, α) $(\alpha > 0)$:

$$a_{nk} = \begin{cases} 1, & n = k = 0; \\ \dfrac{k\binom{n-k+\alpha-1}{\alpha-1}}{n\binom{n+\alpha}{\alpha}}, & n \geqslant 1;\ n \geqslant k \geqslant 0; \\ 0, & k < n. \end{cases}$$

2. Метод Эйлера порядка α, или метод (E, α) $(\alpha > 0)$:

$$a_{nk} = \begin{cases} \dfrac{\alpha^{n-k}}{(\alpha+1)^{n+1}}\binom{n}{k}, & n \geqslant k \geqslant 0; \\ 0, & k > 0. \end{cases}$$

3. Метод Абеля, или метод A: $q_k(x) = ke^{-kx}$.

4. Интегральный метод Бореля, или метод B: $q_k(x) = e^{-x}\dfrac{x^k}{k!}$.

Т е о р е м а 1. *Для того чтобы*: а) $(C, \alpha)_1^{\varphi} \subset e$; б) $A_1^{\varphi} \subset e$, *необходимо и достаточно существование индекса* s *и числа* $r > 1$ *таких, что при* $k > s$

$$\varphi_{k+1}/\varphi_k > r. \tag{1}$$

Т е о р е м а 2. *Для того чтобы* $(E, \alpha)_1^{\varphi} \subset e$, *необходимо и достаточно выполнение следующих условий*:

1) *Если* $\xi = \{\xi_k\} \in (E, \alpha)_1^{\varphi}$, *то* $\xi_k = O(\gamma^k)$ *для некоторого* $\gamma > 0$.

2) *Существуют индекс* p *и число* $q > 0$ *такие, что для всех* $k > p$

$$\varphi_{k+1} - \varphi_k^2 > q\sqrt{\varphi_k}. \tag{2}$$

Т е о р е м а 3. *Для того чтобы* $B_1^{\varphi} \subset e$, *необходимо и достаточно выполнение следующих условий*:

1) *Если* $\xi = \{\xi_k\} \in B_1^{\varphi}$, *то* $\xi_k = O(\gamma^k)$ *для некоторого* $\gamma > 0$.

2) *Существуют индекс* p *и число* $q > 0$ *такие, что для всех* $k > p$

$$\varphi_{k+1}^2 - \varphi_k > q\sqrt{\varphi_k}. \tag{3}$$

Достаточность условия (1) в случае а) теоремы 1 доказана в работе [1]. Необходимость условий (1), (2), (3) доказывается с помощью следующих двух теорем, представляющих самостоятельный интерес.

Т е о р е м а 4. *Пусть метод* A *задан матрицей* (a_{nk}), *причем*: 1) $e \in A_1$; 2) $(m - e) \cap A_1 = \phi$; 3) $\sum_k |a_{nk}| < \infty$ $(n = 0, 1, \ldots)$. *Тогда существует индекс* p *и число* $q > 0$ *такие, что для всех* $\xi \in e$ *имеем* $\|\xi\|_{A_1}^p > q\|\xi\|_1^p$.

Т е о р е м а 5. *Пусть метод* Q *задан последовательностью* $\{q_k(x)\}$ *функций, непрерывных на* $[0, \infty)$, *причем*: 1) $e \in Q_1$; 2) $(m - e) \cap Q_1 = \phi$; 3) $\sum_k |q_k(x)| < \infty$ $(x \in [0, \infty))$. *Тогда существуют индекс* p *и число* $q > 0$ *такие, что для всех* $\xi \in e$ *имеем* $\|\xi\|_{Q_1}^p > q\|\xi\|_1^p$.

Теоремы, аналогичные теоремам 1 и 2, для полей суммирования доказываются в [2], однако необходимость условий (1), (2), (3) устанавливается лишь для условия (1) в случае метода (C, α), $0 < \alpha \leqslant 1$. Для остальных случаев необходимость можно установить тем же приемом, как и при доказательстве теорем 1 и 2, с помощью устанавливаемой ниже теоремы 9.

§ 2. Пусть A и B — два метода суммирования, заданные матрицами (a_{nk}) и (b_{nk}), причем

$$\sum_k (|a_{nk}| + |b_{nk}|) < \infty, \quad n = 0, 1, \ldots$$

Теорема 6. *Если для некоторых* i *и* j, $1 \leqslant i, j \leqslant 3$, *имеем* $A_i \subset B_j$, *о для любого* $\delta > 0$ *существуют индекс* $p(\delta)$ *и число* $q(\delta) > 0$, *такие, по для всех* $\xi \in A_i \cap m$ *имеем* $\|\xi\|_{A_i}^{p(\delta)} + \delta q(\delta) \|\xi\|_2^{p(\delta)} \geqslant q(\delta) \|\xi\|_{B_j}^{p(\delta)}$.

Замечание. Для конечностроч ных матриц можно положить $\delta = 0$ $(0) < \infty$, $q(0) > 0$).

Для методов P и Q, заданных последовательностями $\{p_k(x)\}$ и $\{q_k(x)\}$, ричем $\sum_k (|p_k(x)| + |q_k(x)|) < \infty$, справедливы аналогичные соотноше- ия, если всюду заменить A_i на P_i и B_i на Q_j.

В качестве следствий теоремы 6 получаем:

Теорема 7. *Если* $A_1 \subset c$, *то существуют индекс* p *и число* $q > 0$ *акие, что для всех* $\xi \in A_1 \cap m$ $\|\xi\|_{A_1}^p > q \|\xi\|_1^p$.

Теорема 8. *Если* $A_1 \subset m$, *то существуют индекс* p *и число* $q > 0$ *акие, что для всех* $\xi \in A_1 \cap m$ $\|\xi\|_{A_1}^p > q \|\xi\|_2^p$.

Теорема 9. *Если* $A_2 \subset m$ ($A_3 \subset m$), *то существуют индекс* p *и исло* $q > 0$ *такие, что для всех* $\xi \in A_2 \cap m$ ($\xi \in A_3 \cap m$) *имеем* $\|\xi\|_{A_2}^p > q \|\xi\|_2^p$.

Теорема 9 для случая $A_3 \subset m$, причем матрица A — матрица еплица, утверждается в [3]. С помощью теоремы 9 легко доказывается ледующий результат, принадлежащий Целлеру [4]:

Теорема 10. *Если* $c \subset A_3 \subset m$, *то* $c = A_3$.

Теорема 8 приводит к аналогу теоремы 10 для полей абсолютного сум- ирования.

Теорема 11. *Если* $e \subset A_1 \subset m$ *и для любого* p *ограниченные решения истемы уравнений* $\sum_n \tau_n a_{nk} = 0$ $(k = p, p+1, \ldots)$, *содержатся в* e, *о* $A_1 \subset c$.

Применяя теорему 8 к методам 1 и 2 и используя результаты § 1, полу- аем:

Теорема 12. *Если* $(C, \alpha)_1^\varphi \subset m$, *то* $(C, \alpha)_1^\varphi = e$.

Теорема 13. *Если* $(E, \alpha)_1^\varphi \subset m$, *то* $(E, \alpha)_1^\varphi = e$.

§ 3. Введем на c_0 норму $\|\xi\| = \sup_k |\xi_k|$. Тогда c_0 будет B-про странством. Пусть A — линейный непрерывный оператор, отображающий c_0 в себя. Обозначим через c_n n-е сопряженное c_0 пространство и через A_n — -й сопряженный A оператор.

Теорема 14. *Если из* $(A_4, x) \in c_0$ *следует, что* $x \in c_2$, *то из* $(A_4, x) \in c_0$ *ледует, что* $x \in c_0$, *причем существует* $q > 0$ *такое, что для всех* $x \in c_0$ $A_4, x)\| > q \|x\|$.

Далее, нетрудно видеть, что оператор A_1 можно представить в виде

$$\eta = (A_1, \xi), \quad \eta = \{\eta_n\}, \quad \xi = \{\xi_k\}, \quad \eta_n = \sum_k a_{nk} \xi_k,$$

ричем матрица (a_{nk}) зависит лишь от оператора A.

Теорема 15. *Если из* $(A_4, x) \in c_1$ *следует, что* $x \in c_2$, *и для каж- ого* p *ограниченные решения системы уравнений* $\sum_n \tau_n a_{nk} = 0$ $(k = p, p+1, \ldots)$ *одержатся в* c_1, *то из* $(A_4, x) \in c_1$ *следует, что* $x \in c_0$.

Теоремы 14 и 15, очевидно, являются в некотором смысле аналогами еорем 10 и 11.

Тартуский государственный университет

Поступило 7 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Обрешков, Докл. Болгарск. Акад. наук, 8, 1 (1955). [2] K. Zeller, W. Meyer-König, Math. Zs., 66, № 3 (1956). [3] А. Л. Брудно, ДАН, 91, № 2 (1953). [4] K. Zeller, Math. Zs., 53, 5 (1951).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

Ю. Л. ДАЛЕЦКИЙ

КОНТИНУАЛЬНЫЕ ИНТЕГРАЛЫ, СВЯЗАННЫЕ С НЕКОТОРЫМИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ И СИСТЕМАМИ

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 23 IX 1960)

В настоящей заметке изложенный в [1] метод представления решени виде континуальных интегралов распространяется на новый клас дифференциальных уравнений.

1. Пусть $M(x_0, x_l)$ — пространство ограниченных вектор-функци $x(t)$ $(0 \leqslant t \leqslant l)$ со значениями из конечномерного пространства R_ν, удов летворяющих условиям $x(0) = x_0$, $x(l) = x_l$. Пусть, далее, q — разбие ние $0 = t_0 < t_1 < \ldots < t_n < t_{n+1} = l$; R_ν^q — пространство элементо $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, где $x_k \in R_\nu$ и $Q(q, R)$ — цилиндрическое множеств из $M(x_0, x_l)$, порожденное разбиением q и борелевским множеством R из R_ν^q Пусть на множествах $Q(q, R)$ задана функция $\mu(q, R)$, значения кото рой — m-мерные матрицы, являющаяся абстрактной мерой ограниченно вариации в каждом R_ν^q и удовлетворяющая обычным условиям согласо ванности. Такая функция $\mu_S(q, R)$ обычным образом (как в теории марков ских процессов) строится, если задано семейство матриц $S(t_1, t_2; x_1, x_2)$ $(t_1 < t_2)$, удовлетворяющих для некоторой меры $\sigma(x)$ в R_ν уравнени

$$\int_{R_\nu} S(t_2, t_3; x_2, x_3)\, S(t_1, t_2; x_1, x_2)\, d\sigma(x_2) = S(t_1, t_3; x_1, x_3). \qquad (1$$

Если $\Phi(x(t))$ — функционал на $M(x_0, x_l)$, то положим

$$I(\Phi) = \lim_q I_q(\Phi) = \lim_q \int_{R_\nu^q} \Phi(x_q(t))\, \mu(q, dx), \qquad (2$$

где $x_q(t) = x(t_{k-1})$ при $t_{k-1} \leqslant t < t_k$ $(k = 1, \ldots, n+1)$ и $x_q(t) = x$ при $t = l$. Если $I(\Phi)$ имеет смысл, то мы назовем его континуальным инте гралом и будем обозначать

$$I(\Phi) = \int^*_{M(x_0, x_l)} \Phi(x(t))\, d\mu(x(t)). \qquad (3$$

Если функция $\mu(q, R)$ имеет ограниченную вариацию, то ее можно обыч ным образом продолжить до некоторой счетно-аддитивной меры. Интеграль по этой мере, в отличие от (3), будем писать без звездочки. Для ограничен ных непрерывных функционалов $\Phi(x)$ оба определения совпадают [2].

Т е о р е м а 1. *Если $S(t_1, t_2; x_1, x_2)$ — вещественная непрерывная по x_1, x_2 функция и $\int_{R_\nu} S(t_1, t_2; x_1, x_2)\, d\sigma(x_2) \geqslant 1$, то функция $\mu_S(q, R)$ имеет ограниченную вариацию тогда и только тогда, когда в написанной формул имеет место знак равенства и $S(t_1, t_2; x_1, x_2) \geqslant 0$.*

2. Пусть $\mathfrak{H}$ — гильбертово пространство; T — самосопряженный опе ратор с ограниченным обратным; $D = D_T$ — построенное по T простран ство основных элементов; N — соответствующее пространство обобщенных элементов [1].

Рассмотрим решение $U(\tau, t)$ операторного уравнения $dU/dt = A(t)U$ условием $U(\tau, \tau) = I$, считая выполненными условия, при которых оно ществует и корректно ([3-6]). Пусть при некотором $p > 0$ $\| TA^{-p} \| < \infty$. огда имеют смысл выражения $S_{jk}(t_1, t_2; x_1, x_2) = (U(t_1, t_2)\xi_{jx_1}, \xi_{kx_2})$, где $_x (k = 1, \ldots, m; x \in R_\nu)$ — полное семейство обобщенных элементов, ричем матрица $S = \| S_{jk} \|$ удовлетворяет условию (1).

Теорема 2. *Пусть* $m = 1$ *и* $S(t_1, t_2; x_1, x_2) = (e^{A(t_2-t_1)}\xi_{x_1}, \xi_{x_2})$ $= \text{const}$). *Пусть существует последовательность* $\varphi_n \in D$ *такая, что* $\varphi_n \in D$, *последовательности функций* $\varphi_n(x) = (\varphi_n, \xi_x)$ *и* $\psi_n(x) = (A\varphi_n, \xi_x)$ *вномерно ограничены и* $\varphi_n(x) \to 1$, $\psi_n(x) \to 0$ *при* $n \to \infty$ *почти всюду* R_ν *относительно* $\sigma(x)$. *Тогда, если* $\int_{R_\nu} |S(t_1, t_2; x_1, x_2)| \, d\sigma(x_2) < \infty$ *при* $> t_1$, *то*

$$\int_{R_\nu} S(t_1, t_2; x_1, x_2) \, d\sigma(x_2) = 1.$$

Аналогичная теорема имеет место и при $m > 1$ и A, зависящем от t.

3. Пусть A — самосопряженный отрицательно определенный опера- р, B — некоторый производящий оператор такой, что и $A + B$ — про- водящий оператор полугруппы ([6]), переводящей $\mathfrak{H}$ в D. В ([1]) при условии раниченности операторов B и $A^p B A^{-p}$ установлено равенство

$$e^{(A+B)t}\xi = \lim_q \sum_{k=1}^{n} e^{A(t_k - t_{k-1})} e^{B(t_k - t_{k-1})}\xi \quad (\xi \in N), \tag{4}$$

е предел понимается в смысле сильной сходимости в D.

Теорема 3. *Соотношение* (4) *справедливо, если при некоторых* $\gamma \geq 0$ $p_1 \geqslant p$ *выполнены условия:* $\| A^p B A^{-p_1} \| < \infty$, $\| A^{p_1} e^{Bt} A^{-p_1} \| \leqslant e^{\gamma t}$.

Введем в рассмотрение фундаментальную матрицу операторного урав- ния $d\psi/dt = (A + B)\psi$, соответствующую избранной полной системе обоб- енных элементов:

$$W(t; x, y) = \| (e^{(A+B)t}\xi_{ix}, \xi_{jy}) \|_{i,j=1}^{m}.$$

Из формулы (4) следует представление

$$W(l; x_0, x_l) = \lim_q \int_{R_\nu^q} \sum_{r=1}^{n+1} G(t_r - t_{r-1}; x_{r-1}, x_r) \, d\sigma(x_1) \ldots d\sigma(x_n), \tag{5}$$

е $G_{ij}(t; x, y) = (e^{At}e^{Bt}\xi_{ix}, \xi_{jy})$. Заметим, что эти результаты перено- тся и на случай, когда операторы A и B зависят от t.

4. Рассмотрим некоторые частные случаи.

1) Пусть $B = V(C)$ — ограниченная скалярная функция самосопря- енного оператора C, удовлетворяющего условиям, подробно рассмотрен- им в ([1]). При этих условиях, как известно ([7]), в N содержится полное мейство обобщенных собственных элементов оператора C. Из формулы (5) я соответствующей этой системе фундаментальной матрицы вытекает едставление

$$W(l; x_0, x_l) = \int_{M(x_0, x_l)}^{*} \exp\left[\int_0^l V(x(t)) \, dt\right] d\mu_S(x(t)), \tag{6}$$

е $S_{ij}(t; x, y) = (e^{At}\xi_{ix}, \xi_{jy})$. Формулу (6) можно использовать для пред- авления фундаментальной матрицы системы

$$\partial\psi/\partial t = L(\psi) + B(x, t)\psi, \tag{7}$$

где ψ — m-мерный вектор, $L(\psi)$ — самосопряженная сильно эллиптическая система дифференциальных операторов, $B(x, t)$ — эрмитова матрица.

2) Пусть $B\xi_{jx} = \sum_{k=1}^{m} \beta_{jk}(x)\,\xi_{kx}$ и $(e^{At}\xi_{jx},\ \xi_{ky}) = \delta_{jk}\,(e^{At}\xi_{1x},\ \xi_{1y})$. Тогда

$$W(l;\ x_0,\ x_l) = \int\limits_{M(x_0,\ x_l)} \exp\left[\int\limits_0^l \beta(x(t))\,dt\right] d\mu_S(x(t)),$$

где $S(t;\ x,\ y) = (e^{At}\xi_{1x},\ \xi_{1y})$ — скалярная функция, а под знаком континуального интеграла стоит мультипликативный интеграл. Эта формула может быть применена к системе вида (7), в которой $L(\psi) = L_1(\psi)\cdot I$, где $L_1(\psi)$ — эллиптический оператор, I — единичная матрица.

3) Рассмотрим для простоты случай $m = 1$, и пусть

$$e^{Bt}\xi_x = e^{t\beta(x,\ t)}\xi_{\gamma(x,\ t)},$$

где $\beta(x, t)$ — скалярная функция, $\gamma(x, t)$ функция со значениями из R_ν. Формулу (5) при этом можно привести к виду

$$W(l;\ x_0,\ x_l) =$$

$$= \lim_{\delta} \int\limits_{R_\nu^q} \exp\left\{\sum_{r=1}^{n+1} [\Delta t_r \beta(x_{r-1},\ \Delta t_r) + f(\Delta t_r;\ x_{r-1},\ x_r)]\right\} d\mu_S(q, R), \tag{8}$$

где $S(t;\ x,\ y) = (e^{At}\xi_x,\ \xi_y)$ и $f(t;\ x,\ y) = \ln \dfrac{S(t,\ \gamma(x,\ y),\ y)}{S(t,\ x,\ y)}$.

Пусть существует функционал $\Phi(x(t))$ в $M(x_0, x_l)$, для которого значение $\Phi(x_q(t))$ совпадает с выражением под знаком exp в (8). Тогда

$$W(l;\ x_0,\ x_l) = \int\limits^{*}_{M(x_0,\ x_l)} e^{\Phi(x(t))} d\mu(x(t)). \tag{9}$$

Проводя аналогичные рассмотрения в случае $m \geqslant 1$, можно получить представление фундаментальной матрицы системы вида

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = L(\psi)\cdot I + \sum_{k=1}^{\nu} a_k(x, t)\,\frac{\partial \psi}{\partial x^{(k)}} + V(x, t)\,\psi, \tag{10}$$

где $I(\psi)$ — самосопряженный эллиптический оператор, $a_k(x, t)$ и $V(x, t)$ — некоторые матрицы.

Теорема 4. *Пусть в системе* (10) $L(\psi) = a\Delta\psi$ *и* $a_k = U_k\Lambda_k U_k^{-1}$, *где* Λ_k — *диагональные матрицы. Тогда*

$$W(l;\ x_0,\ x_l) =$$

$$= \int\limits^{*}_{M(x_0,\ x_l)} \exp\left\{-\frac{1}{2a}\int\limits_0^l \sum_{k=1}^{\nu} a_k dx^{(k)} - \frac{1}{4a}\int\limits_0^l \sum_{k=1}^{\nu} (a_k^2 - U_k^1 U_k^{-1} a_k)\,dt - \int\limits_0^l \operatorname{div} a(x)\,dt\right\} \times$$

$$\times\, d\mu(x(t)). \tag{11}$$

При этом для функционала вида $\Psi(x(t)) = \int\limits_0^l f(x,\ t)\,dx(t)$ *полагаем*

$$\Psi(x_q(t)) = \sum_{r=1}^{n+1} f(x_{r-1},\ t_{r-1})\,(x_r - x_{r-1}). \tag{12}$$

Замечание 1. Можно показать, что при некоторых видоизменениях формулы (12) будет изменяться и формула (11) *. Например, если взять в (12) $f(x_r, t_r)$ вместо $f(x_{r-1}, t_{r-1})$, то в (11) нужно отбросить последний

* См. по этому поводу замечание Р. Фейнмана ([8], стр. 185).

лен в показателе степени, а если взять $^1/_2[f(x_r, t_r) - f(x_{r-1}, t_{r-1})]$, то нужно отбросить половину этого члена.

Замечание 2. В скалярном случае $U_k' = 0$ (это верно и при постоянных матрицах a_k). Формула (11) в этом случае была получена эвристическим путем в (9). Однако примененный там способ приводит к неточности, связанной с тем, что не указывается смысл выражения $\Psi(x_q(t))$, рассмотренного выше. Оказывается, что для получения выведенной в (9) формулы нужно для $\Psi(x_q(t))$ брать выражение, указанное в конце замечания 1, но при этом континуальный интеграл в (11) нельзя считать интегралом Лебега по мере Винера (см. ниже теорему 5).

5. В случае, когда $L(\psi)$ в уравнении (10) — эллиптический оператор второго порядка, фундаментальные решения $S(t; x, y)$ уравнения $\partial\psi/\partial t = L(\psi)$, как известно (10), неотрицательны, и потому функция множеств $\mu_S(q, R)$ порождает меру $\mu(x(t))$ в пространстве $M(x_0, x_t)$.

Теорема 5. *Рассмотрим уравнение* (10) *в скалярном случае. Если в представлении* (9) *его фундаментального решения имеет место соотношение* $\lim_q \Phi(x_q(t)) = \Phi(x(t))$, *где предел понимается в среднем квадратичном по мере* $\mu(x(t))$, *то интеграл в этом представлении можно считать интегралом Лебега по мере* $\mu(x(t))$.

Следствие. Теорема применима в случае, когда оператор $L(\psi)$ является производящим для марковского процесса, по которому существуют стохастические интегралы (см. (11), стр. 392). В частности, это имеет место, когда $L(\psi) = a\Delta\psi$, и потому в формуле (11) в скалярном случае можно опустить звездочку над интегралом.

Для случая $\nu = 1$ представимость в виде интеграла Лебега фундаментального решения уравнения (10) (скалярного) показана другими методами в работе (12). В случае $\nu > 1$ подобные результаты вытекают из работы (13).

6. Известным способом, принадлежащим Р. Фейнману (8), можно показать представимость в виде предела континуальных интегралов фундаментального решения уравнения вида $\partial\psi/\partial t = iL(\psi) + L_1(\psi)$. Этот прием состоит в рассмотрении уравнения $\partial\psi/\partial t = (i + \varepsilon)L(\psi) + L_1(\psi)$, к которому применимы изложенные выше результаты (подробнее см. (1)), и в последующем переходе к пределу при $\varepsilon \to 0$. Таким путем, например, можно получить представление фундаментальных решений уравнения типа Паули в виде, аналогичном (11).

Заметим, что функция множеств $\mu(q, R)$, порождаемая оператором $(i + \varepsilon)L(\psi)$, комплексна, и потому к ней не применима теорема 1. Однако в этом случае при некоторых условиях можно доказать аналогичную теорему. В частности, можно показать, что функция $\mu_S(q, R)$, построенная по фундаментальному решению $S(t; x, y) = (4\pi Dt)^{1/2}e^{-x^2/4Dt}$ уравнения $\partial\psi/\partial t = D\partial^2\psi/\partial x^2$ при $\operatorname{Im} D \neq 0$ не имеет ограниченной вариации. В связи с этим нам кажется необоснованным приведенное в (9) (стр. 93) утверждение, что это уравнение порождает меру столь же хорошую, как и винеровская.

Киевский политехнический институт

Поступило 14 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Ю. Л. Далецкий, ДАН, **134**, № 5 (1960). [2] С. В. Фомин, Научн. докл. высш. школы, физ.-матем. науки, 2 (1959). [3] Э. Хилл, Функциональный анализ и полугруппы, ИЛ, 1951. [4] T. Kato, J. Math. Soc. Japan, 5, 208 (1953). [5] М. А. Красносельский, С. Г. Крейн, П. Е. Соболевский, ДАН, **112**, № 6, 990 (1957). [6] С. Г. Крейн, П. Е. Соболевский, ДАН, **118**, № 2, 233 (1958). [7] Г. И. Кац, ДАН, **119**, № 1, 19 (1958). [8] Р. Фейнман, Сборн. Вопросы причинности в квантовой механике, ИЛ, 1955. [9] И. М. Гельфанд, А. М. Яглом, УМН, **11**, № 1, 77 (1956). [10] Л. Н. Слободецкий, Матем. сборн., **46**, 2, 229 (1958). [11] Дж. Дуб, Вероятностные процессы, ИЛ, 1956. [12] Ю. В. Прохоров, Теория вероятн. и ее применен., **1**, 177 (1956). [13] А. В. Скороход, Теория вероятн. и ее применен., **5**, 1, 45 (1960).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

В. А. ИЛЬИН

О СИСТЕМЕ КЛАССИЧЕСКИХ СОБСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ ЛИНЕЙНОГО САМОСОПРЯЖЕННОГО ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ОПЕРАТОРА С РАЗРЫВНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

(Представлено академиком И. Г. Петровским 14 X 1960)

В предлагаемой работе устанавливается ряд свойств функции Грина задач Дирихле и Неймана для общего линейного самосопряженного эллиптического оператора 2-го порядка с разрывными коэффициентами. При помощи этих свойств доказывается существование полной ортонормированной системы классических собственных функций указанного оператора. Далее при помощи результатов работы (1) доказывается совпадение системы классических собственных функций рассматриваемого оператора с разрывными коэффициентами с системой обобщенных собственных функций того же оператора.

1°. Пусть открытая N-мерная область g вместе со своей границей Γ лежит внутри некоторой открытой области T. Предположим далее, что область g разбивается некоторой лежащей внутри нее замкнутой поверхностью C на две подобласти g_1 (лежащую внутри C) и g_2. Рассмотрим в $(g + \Gamma)$ следующую задачу на собственные функции:

$$L_1 v + \lambda v = \sum_{i,k=1}^{N} \frac{\partial}{\partial x_i}\left[a_{ik}^{(1)}(x)\frac{\partial v}{\partial x_k}\right] - c^{(1)}(x)\,v + \lambda v = 0 \text{ в } g_1,$$

$$L_2 v + \lambda v = \sum_{i,k=1}^{N} \frac{\partial}{\partial x_i}\left[a_{ik}^{(2)}(x)\frac{\partial v}{\partial x_k}\right] - c^{(2)}(x)\,v + \lambda v = 0 \text{ в } g_2, \qquad (1)$$

$$v|_\Gamma = 0, \quad [v]|_C = 0, \quad \left[\frac{\partial v}{\partial \nu}\right]\Big|_C = 0,$$

где $[v] = v|_{C-0} - v|_{C+0}$; $\left[\frac{\partial v}{\partial \nu}\right]\Big|_C = \frac{\partial v}{\partial \nu_1}\Big|_{C-0} - \frac{\partial v}{\partial \nu_2}\Big|_{C+0}$; ν_1 — внешняя по отношению к области g_1 конормаль для оператора L_1; ν_2 — внутренняя по отношению к области g_2 конормаль для оператора L_2, а символы $C - 0$ и $C + 0$ означают, что берутся предельные значения соответственно с внутренней и с внешней по отношению к g_1 сторон поверхности C.

Пусть выполнены следующие 4 условия: 1) поверхность C принадлежит классу Ляпунова, поверхность Γ регулярна *; 2) функции $a_{ik}^{(m)}(x)$ и $c^{(m)}(x)$ $(m = 1, 2)$ определены и принадлежат классам **: $a_{ik}^{(1)}(x) \in C^{(1,\mu)}$ в области $(g_1 + C)$, $a_{ik}^{(2)} \in C^{(1,\mu)}$ в $(T - g_1)$, $c^{(1)}(x) \in C^{(0,\mu)}$ в $(g_1 + C)$, $c^{(2)}(x) \in C^{(0,\mu)}$ в $(T - g_1)$; 3) коэффициенты $a_{ik}^{(m)}(x)$ $(m = 1; 2)$ всюду в областях своего определения удовлетворяют условиям эллиптичности; 4) $c^{(m)}(x) \geqslant 0$ всюду в областях своего определения.

Указанные 4 условия будем называть условиями А.

---

* Поверхность называется регулярной, если в области, ограниченной этой поверхностью, разрешима задача Дирихле для уравнения Лапласа при любой непрерывной граничной функции.

** Определение всех используемых в этой статье классов можно найти в (2).

Прежде всего устанавливаются свойства функции Грина для задачи Дирихле с разрывными коэффициентами вида

$$L_1 u = -f_1(x) \text{ в } g_1, \quad L_2 u = -f_2(x) \text{ в } g_2,$$
$$u|_\Gamma = 0, \quad [u]|_C = 0, \quad \left[\frac{\partial u}{\partial \nu}\right]\Big|_C = 0. \tag{2}$$

Теорема 1. *Пусть выполнены условия* A. *Тогда существует функция Грина задачи* (2) $K(x, y)$, *причем эта функция удовлетворяет следующим требованиям*: 1) $K(x, y)$ *симметрична относительно* x *и* y; 2) $K(x, y) \in N^{(2)}$ *при* $x, y \in (g + \Gamma)$ (*т. е.* $K(x, y)$ *непрерывна по совокупности* x, y *всюду в замкнутой области* $(g + \Gamma)$, *кроме точек* $x = y$, *и для нее справедлива равномерная в замкнутой области* $(g + \Gamma)$, *оценка** $K(x, y) = O(r_{xy}^{2-N})$); 3) *если* $f_1(x) \in C^{(0, \mu)}$ *в* g_1 *и* $\in C^{(0)}$ *в* $(g_1 + C)$, *а* $f_2(x) \in C^{(0, \mu)}$ *в* g_2 *и* $\in C^{(0)}$ *в* $(g_2 + C + \Gamma)$, *то единственное классическое решение* $v(x)$ *задачи* (2) *определяется формулой*

$$v(x) = \int_{g_1} K(x, y) f_1(y)\, dy + \int_{g_2} K(x, y) f_2(y)\, dy. \tag{3}$$

Наметим схему доказательства теоремы 1. Будем искать функцию Грина $K(x, y)$ задачи (2) в виде

$$K(x, y) = K_1(x, y) + K_2(x, y) + w(x, y), \tag{4}$$

где $K_1(x, y)$ — функция Грина оператора L_1 в области g_1, продолженная тождественным нулем на область g_2; $K_2(x, y)$ — функция Грина оператора L_2 в области g_2, продолженная тождественным нулем на область g_1, а $w(x, y)$ для любого фиксированного y, принадлежащего g_1 или g_2, представляет собой решение следующей задачи Дирихле с разрывными коэффициентами:

$$L_1 w = 0 \text{ в } g_1, \qquad L_2 w = 0 \text{ в } g_2, \tag{5}$$
$$w|_\Gamma = 0, \quad [w]|_C = 0, \quad \left[\frac{\partial w}{\partial \nu}\right]\Big|_C = \theta(x, y),$$

где $\theta(x, y) = -\partial K_1(x, y)/\partial \nu_{1x}$ при $y \in g_1$ и $\theta(x, y) = \partial K_2(x, y)/\partial \nu_{2x}$ при $y \in g_2$.

В силу свойств функций Грина $K_1(x, y)$ и $K_2(x, y)$ и одного результата Жиро ([3]) $\theta(x, y)$ как функция x при любом фиксированном $y \in (g_1 + g_2)$ принадлежит на поверхности C классу $C^{(0, \mu)}$. Но тогда, в силу основного результата работы ([1]), решение задачи (5) существует и определяется формулой

$$w(x, y) = \int_C K_0(x, t)\, \mu(t, y)\, ds_t, \tag{6}$$

где $K_0(x, y)$ — ядро, построенное в работе ([1]), а $\mu(x)$ является решением интегрального уравнения

$$\mu(x, y) = \int_C F(x, t)\, \mu(t, y)\, ds_t + \theta_1(x, y), \tag{7}$$

ядро которого $F(x, y) \in N^{(1+\delta, \gamma)}$ при $x, y \in C$, $\delta > 0$, $\gamma < \delta$.

В силу одного тонкого результата из теории интегральных уравнений (см. ([2]), стр. 59) резольвента $\Gamma(x, y)$ ядра $F(x, y)$ во всяком случае $\in N^{(1+\delta)}$ при $x, y \in C$. Но тогда, выражая решение уравнения (7) через резольвенту

---

* Здесь $N \geqslant 3$. При $N = 2$ $K(x, y) = O\left(\ln \frac{2D}{r_{xy}}\right)$, где D — диаметр области g.

и подставляя это выражение в (6), мы получим для $w(x, y)$ представление

$$w(x, y) = \int_C M(x, t)\, \theta(t, y)\, ds_t, \tag{8}$$

где через $M(x, y)$ обозначено ядро, принадлежащее классу $N^{(2)}$ при $x \in (g + \Gamma)$, $y \in C$. С помощью представления (8), учитывая конкретный вид функции $\theta(t, y)$, нетрудно обосновать требование 2) теоремы 1.

Для доказательства свойства 1) весьма существенно используется факт совпадения классического и обобщенного решений задачи Дирихле (2), установленный в пункте 2^0 работы [1].

Наконец, свойство 3) доказываем, опираясь на симметрию $K(x, y)$, факт совпадения классического и обобщенного решений задачи (2) и формулу Грина.

2^0. Переходим к вопросу о существовании классических собственных функций задачи (1.)

Определение. Классической собственной функцией задачи (1) называется функция $v(x)$, удовлетворяющая следующим требованиям: 1) $v(x) \not\equiv 0$; 2) $v(x)$ принадлежит классу $C^{(0)}$ в замкнутой области $(g + \Gamma)$, классу $C^{(1)}$ в каждой из областей $(g_1 + C)$ и $(g_2 + C)$ и классу $C^{(2)}$ в каждой из открытых областей g_1 и g_2; 3) $v(x)$ при некотором λ в обычном классическом смысле удовлетворяет всем условиям задачи (1).

Теорема 2. *Если выполнены условия* А, *то существует полная* ($в\mathcal{L}_2$) *ортонормированная система классических собственных функций задачи* (1).

Для доказательства теоремы 2 исследуется однородное интегральное уравнение

$$v(x) = \lambda \int_g K(x, y)\, v(y)\, dy, \tag{9}$$

ядром которого служит построенная выше функция Грина задачи (2). Установленные в теореме 1 свойства функции Грина позволяют доказать, что это уравнение имеет счетную систему собственных функций $\{v_n(x)\}$, что каждая из этих функций является одновременно классической собственной функцией задачи (2) и что система собственных функций полна в $\mathcal{L}_2(g)$.

3^0. Используя результат пункта 2^0 работы [1] и схему, изложенную в работе [4], легко доказать следующее утверждение:

Теорема 3. *Полная система классических собственных функций задачи* (1) *совпадает с полной системой обобщенных* * *собственных функций этой задачи.*

Замечание 1. Теоремы, аналогичные теоремам 1, 2 и 3, имеют место и для собственных функций 2-й и 3-й краевых задач, т. е. для собственных функций задачи (1), в которой условие $v|_\Gamma = 0$ заменено на $(\partial v/\partial \nu_2 + hv)|_\Gamma = 0$, где $h(x) \geqslant 0$.

В этом случае к определению собственной функции нужно сделать добавление $v(x) \in C^{(1)}$ в $(g_2 + C + \Gamma)$, а к условиям А сделать два добавления: 1) Γ — поверхность типа Ляпунова; 2) $h(x)$ непрерывна и неотрицательна на Γ.

4^0. Теорема 4. *Если выполнены условия* А, *то существует такая постоянная* C_0, *что равномерно в замкнутой области* $(g + \Gamma)$ *справедливо неравенство*

$$|v_n(x)| < C_0 \lambda_n^{N/4}. \tag{10}$$

Здесь $v_n(x)$ *обозначает нормированную в* $\mathcal{L}_2(g)$ *собственную функцию задачи* (1), *соответствующую собственному значению* λ_n.

* Определение обобщенных собственных функций см., например, в [4].

Для доказательства теоремы 4 следует использовать теорему 3 и применить метод, развитый в [5].

Замечание 2. Все результаты настоящей работы переносятся на случай, когда внутри поверхности Г лежит n принадлежащих классу Ляпунова замкнутых поверхностей разрыва коэффициентов $C_1, C_2, \ldots, C_n$ и на каждой из этих поверхностей заданы краевые условия $[v]_{C_i} = 0$, $[\partial v/\partial \nu]_{C_i} = 0$ $(i = 1, 2, \ldots, n)$. При этом некоторые из поверхностей C_i могут лежать внутри других.

Автор выражает благодарность А. Н. Тихонову за обсуждение результатов этой работы.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
6 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. А. Ильин, ДАН, 137, № 1 (1961). [2] К. Миранда, Уравнения с частными производными эллиптического типа, ИЛ, 1957. [3] G. Giraud, Bull. Soc. Math. de France, 61, 1 (1933). [4] В. А. Ильин, И. А. Шишмарев, Изв. АН СССР, сер. матем., 24, № 5 (1960). [5] В. А. Ильин, И. А. Шишмарев, Изв. АН СССР, сер. матем., 24, № 6 (1960).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

А. А. КИРИЛЛОВ

ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ И. М. ГЕЛЬФАНДА

(Представлено академиком И. Г. Петровским 18 X 1960)

Пусть в n-мерном (вещественном или комплексном) пространстве задана кривая K. Совокупность всех прямых, пересекающих K, образует n-мерное (вещественное или комплексное) многообразие M. Каждой быстро убывающей бесконечно дифференцируемой функции $f(x)$ в исходном пространстве можно сопоставить функцию $\hat{f}(m)$ на многообразии M: $\hat{f}(m)$ равна интегралу $f(x)$ по прямой m ($\in M$. Мы покажем, что функция $f(x)$ восстанавливается по $\hat{f}(m)$ тогда и только тогда, когда кривая K пересекается почти со всеми гиперплоскостями $(x, \xi) = c$. В случае, когда кратность пересечения одна и та же для почти всех гиперплоскостей, оказывается возможным дать явную формулу, выражающую $f(x)$ через $\hat{f}(m)$. Полученный результат дает ответ на один из вопросов, поставленных И. М. Гельфандом в [1].

В дальнейшем мы ограничимся случаем комплексного пространства C^n (для вещественного пространства справедливы те же формулы с очевидными изменениями). Пусть кривая K задана параметрически: $x = \varphi(\lambda)$, где λ — комплексный параметр. Обозначим через $g(\alpha, \lambda)$ интеграл функции $f(x)$ по прямой, проходящей через точку $\varphi(\lambda)$ с направляющим вектором α:

$$g(\alpha, \lambda) = \int f(\varphi(\lambda) + t\alpha)\, dt\, d\bar{t}. \tag{1}$$

Наша задача состоит в том, чтобы восстановить функцию $f(x)$, зная $g(\alpha, \lambda)$. Обозначим через $G(\beta, \lambda)$ преобразование Фурье функции $g(\alpha, \lambda)$ по переменным α *. Тогда

$$G(\beta, \lambda) = \int g(\alpha, \lambda)\, e^{i\operatorname{Re}(\alpha, \beta)}\, d\alpha\, d\bar{\alpha} = \iint f(\varphi(\lambda) + t\alpha)\, e^{i\operatorname{Re}(\alpha, \beta)}\, dt\, d\bar{t}\, d\alpha\, d\bar{\alpha} =$$

$$= \int\int f(\gamma)\, e^{i\operatorname{Re}\left(\frac{\gamma - \varphi(\lambda)}{t}, \beta\right)} |t|^{-2n}\, d\gamma\, d\bar{\gamma}\, dt\, d\bar{t} =$$

$$= \iint f(\gamma)\, e^{\operatorname{Re}(\gamma - \varphi(\lambda), \tau\beta)} |\tau|^{2n-1}\, d\gamma\, d\bar{\gamma}\, d\tau\, d\bar{\tau} = \int \tilde{f}(\tau\beta)\, |\tau|^{2n-4}\, e^{-i\operatorname{Re}(\varphi(\lambda), \beta)}\, d\tau\, d\bar{\tau},$$

где $\tilde{f}(\beta)$ — преобразование Фурье функции $f(x)$. Введем функции $\Phi(\beta, \tau) = \tilde{f}(\tau\beta)\, |\tau|^{2n-4}$ и $F(\beta, \omega) = \int \Phi(\beta, \tau)\, e^{-i\operatorname{Re}\omega\tau}\, d\tau\, d\bar{\tau}$ **. Приведенные выше выкладки показывают, что

$$G(\beta, \lambda) = F(\beta, (\varphi(\lambda), \beta)). \tag{2}$$

Очевидно, что функции f и F, так же как функции g и G, связаны обратимыми преобразованиями. Поэтому остается исследовать связь между F и G. Соотношение (2) показывает, что, зная функцию G, можно опреде-

---

* Функция $g(\alpha, \lambda)$ однородна: $g(t\alpha, \lambda) = |t|^{-2} g(\alpha, \lambda)$. Поэтому ее преобразование Фурье — обобщенная однородная функция (см., например, [2], гл. III).

** Легко видеть, что при $\beta \neq 0$ этот интеграл сходится, так как $\tilde{f}$ — быстро убывающая функция.

лить значение $F(\beta, \omega)$ лишь тогда, когда при некотором λ выполняется равенство $(\varphi(\lambda), \beta) = \omega$. Это условие означает, что кривая K пересекается с гиперплоскостью $(x, \beta) = \omega$.

Таким образом, чтобы функция F восстанавливалась по функции G (а, значит, и функция f по g), необходимо и достаточно, чтобы кривая K пересекалась почти со всеми гиперплоскостями. Для случая плоской кривой в трехмерном вещественном пространстве этот результат получен ранее И. Я. Вахутинским.

Пусть теперь кривая K пересекает почти все гиперплоскости ровно в l точках. Это предположение выполняется, например, когда K — алгебраическая кривая. Для почти каждого β можно разбить область, пробегаемую параметром λ, на l частей $\Lambda_1, \ldots, \Lambda_l$ так, чтобы при $\lambda \in \Lambda_i$ величина $\omega = (\varphi(\lambda), \beta)$ пробегала почти всю комплексную плоскость. Теперь воспользуемся выражением f через F:

$$f(x) = (2\pi)^{-2n-2} \int\int F(\beta, \omega)\, e^{i \operatorname{Re}[\omega - (\beta, x)]}\, d\beta\, d\bar{\beta}\, d\omega\, d\bar{\omega}$$

и подставим в него выражение F через G из (2). Получим:

$$f(x) = (2\pi)^{-2n-2} \sum_{\lambda \in \Lambda_i} \int\int G(\beta, \lambda)\, e^{i \operatorname{Re}(\varphi(\lambda) - x, \beta)} \frac{D(\omega, \bar{\omega})}{D(\lambda, \bar{\lambda})}\, d\beta\, d\bar{\beta}\, d\lambda\, d\bar{\lambda} =$$

$$= \frac{1}{l} (2\pi)^{-2n-2} \int\int\int g(\alpha, \lambda)\, e^{i \operatorname{Re}(\varphi(\lambda) - x, \beta)} \left(\left| \frac{\partial \omega}{\partial \lambda} \right|^2 + \left| \frac{\partial \omega}{\partial \lambda} \right|^2 \right) d\alpha\, d\bar{\alpha}\, d\beta\, d\bar{\beta}\, d\lambda\, d\bar{\lambda} =$$

$$= \frac{-1}{4l\pi^2} \int Dg(x - \varphi(\lambda), \lambda)\, d\lambda\, d\bar{\lambda},$$

где $Dg(\alpha, \lambda) = \sum \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \lambda} \frac{\partial \varphi_j}{\partial \bar{\lambda}} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \bar{\lambda}} \frac{\partial \bar{\varphi}_j}{\partial \lambda} \right) \frac{\partial^2 g(\alpha, \lambda)}{\partial \alpha_i \partial \bar{\alpha}_j}$.

В случае алгебраической кривой φ аналитически зависит от λ. Поэтому $\partial \varphi_i / \partial \bar{\lambda} = 0$, и для оператора D получаем более простое выражение $D = \sum \frac{\partial \varphi_i}{\partial \lambda} \frac{\partial \bar{\varphi}_j}{\partial \bar{\lambda}} \frac{\partial^2}{\partial \alpha_i \partial \bar{\alpha}_j}$.

Полученная нами формула

$$f(x) = \frac{-1}{4l\pi^2} \int Dg(x - \varphi(\lambda), \lambda)\, d\lambda\, d\bar{\lambda} \tag{3}$$

допускает простое геометрическое толкование: чтобы восстановить значение $f(x)$, необходимо знать интегралы функции f по прямым, проходящим через точку x (и пересекающим K) и близким к ним прямым.

Формулу (3) можно переписать так, чтобы в ней не участвовало параметрическое задание кривой. Для этого заметим, что на кривой $x = \varphi(\lambda)$ дифференциальная форма $\frac{\partial \varphi_i}{\partial \lambda} \frac{\partial \bar{\varphi}_j}{\partial \lambda}\, d\lambda\, d\bar{\lambda}$ совпадает с $dx_i\, d\bar{x}_j$. Поэтому, обозначив через $h(\alpha, x)$ интеграл функции f по прямой, проходящей через точку x с направляющим вектором α, получим

$$f(x_0) = \frac{-1}{4l\pi^2} \int_K \sum \frac{\partial^2 h(x_0 - x, x)}{\partial \alpha_i \partial \bar{\alpha}_j}\, dx_i\, d\bar{x}_j. \tag{4}$$

Для случая, когда K — «гипербола» в C^3, заданая уравнениями $z_1 z_2 = 1$, $z_3 = 0$, формула (4) получена И. М. Гельфандом ([1]).

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
6 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. М. Гельфанд, УМН, № 2, 161 (1960). [2] И. М. Гельфанд, Г. Е. Шилов, Обобщенные функции и действия над ними, М., 1959.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

М. А. НАЙМАРК

ОБ ИЗОМОРФНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ КОЛЕЦ И ГРУПП

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 22 X 1960)

Как известно (см., например, [1]), существуют группы, регулярное представление которых по-разному разлагается на неприводимые представления*; такова, например, дискретная группа всех преобразований $y = \alpha x + \beta$, где α пробегает все положительные рациональные числа, а β — все рациональные числа. Эта группа замечательна еще тем, что ее левое регулярное представление является фактор-представлением (типа II_1), разлагающимся на неэквивалентные между собой неприводимые представления. Эти обстоятельства показывают, что понятия неприводимого представления и эквивалентности представлений являются недостаточно хорошими в вопросах общей теории представлений. Ниже предлагаются понятия изоморфности представлений и простого представления, которые, возможно, окажутся полезными в ряде вопросов теории представлений.

Пусть R — полное вполне регулярное** кольцо; представлением кольца R называется симметричный гомоморфизм $x \to U_x$ кольца R в кольцо $B(\mathfrak{H})$ всех ограниченных линейных операторов в некотором гильбертовом пространстве $\mathfrak{H}$. Как известно (см. [2], следствие п. 3, § 24), образ U_R кольца R при таком гомоморфизме $x \to U_x$ есть также полное вполне регулярное кольцо. Два представления $x \to U_x$ и $x \to V_x$ кольца R будем называть изоморфными, если $U_x = 0$ тогда и только тогда, когда $V_x = 0$. В этом случае, поставив в соответствие каждому оператору U_x оператор V_x, мы получим симметричный изоморфизм $U_x \to V_x$ колец U_R и V_R, следовательно (см. [2], теорема 3, п. 1, § 24),

$$|U_x| = |V_x| \qquad (1)$$

для всех $x \in R$; очевидно, верно также обратное утверждение. Таким образом:

I. *Представления $x \to U_x$, $x \to V_x$ кольца R изоморфны тогда и только тогда, когда* (1) *выполняется для всех $x \in R$.*

Замечание 1. Очевидно, для изоморфности представлений $x \to U_x$, $x \to V_x$ достаточно, чтобы (1) выполнялось на некотором множестве, плотном в R, ибо тогда оно выполняется на всем R.

II. *Унитарно эквивалентные представления изоморфны.*

III. *Квазиэквивалентные*** *представления изоморфны.*

Доказательство. Пусть представления $x \to U_x$ и $x \to V_x$ квазиэквивалентны и пусть представление $x \to W_x$ есть прямая сумма счетного числа экземпляров представления $x \to V_x$; тогда представление $x \to U_x$ эквивалентно некоторой части представления $x \to W_x$, и потому $|U_x| \leq$

* Впервые этот факт был установлен А. Н. Колмогоровым (не опубликовано).

** Мы придерживаемся здесь терминологии, данной в [2]; в дальнейшем R будет всегда обозначать полное вполне регулярное кольцо.

*** Определение и основные свойства квазиэквивалентных представлений см. в [2],

$\leqslant |W_x| = |V_x|$. Меняя ролями U_x и V_x, заключаем, что также $|V_x| \leqslant |U_x|$, и потому $|U_x| = |V_x|$.

В случае неприводимых представлений квазиэквивалентность совпадает с эквивалентностью, и оба предложения II и III дают одно и то же.

IV. *Если одно из колец U_R, V_R состоит из всех вполне непрерывных операторов, а второе неприводимо и если представления $x \to U_x$, $x \to V_x$ изоморфны, то они унитарно эквивалентны.*

Доказательство. Пусть, например, U_R есть совокупность $\mathfrak{C}_1$ всех вполне непрерывных операторов в пространстве $\mathfrak{H}_1$ представления $x \to U_x$ и пусть $\mathfrak{H}_2$ — пространство неприводимого представления $x \to V_x$. Изоморфизм U_R и V_R есть тогда неприводимое представление кольца $\mathfrak{C}$ в $\mathfrak{H}_2$ и потому унитарно эквивалентно тождественному представлению $A \to A$ (см. теорему 2, § 22 в ([2])). Это означает, что изоморфизм U_R на V_R порождается изометрическим отображением $\mathfrak{H}_1$ на $\mathfrak{H}_2$, т. е. представления $x \to U_x$ $x \to V_x$ унитарно эквивалентны.

Замечание 2. Утверждение предложения IV остается справедливым, если U_R состоит из всех операторов вида $\lambda 1 + A$, $A \in \mathfrak{C}_1$. Чтобы в этом убедиться, достаточно сузить на $\mathfrak{C}_1$ заданный изоморфизм U_R на V_R. Таким образом, при $U_R = \mathfrak{C}_1$ или $U_R = \{\lambda 1 + A, A \in \mathfrak{C}_1\}$ изоморфизм совпадает с унитарной эквивалентностью. Ниже мы увидим, что в общем случае это уже неверно даже для неприводимых представлений.

Представление $x \to U_x$ кольца R будем называть простым, если U_R — простое кольцо. Отметим, что неприводимое представление может не быть простым; например, тождественное представление $A \to A$ кольца $B(\mathfrak{H})$ неприводимо, но не является простым; с другой стороны, прямая сумма двух экземпляров одного и того же конечномерного неприводимого представления есть пример простого, но не неприводимого представления. Очевидно:

V. *Представление, изоморфное простому представлению, есть также простое представление.*

Кольцо R называется кольцом простого типа, если все его неприводимые представления простые. Всякое кольцо, неприводимые представления которого заданы вполне непрерывными операторами (*CCR*-алгебра в терминологии Капланского ([4])) есть кольцо простого типа, ибо тогда для любого неприводимого представления $x \to U_x$ кольцо U_R есть совокупность всех вполне непрерывных операторов и потому — простое.

VI. *Всякое простое кольцо R есть кольцо простого типа, именно, все его представления — простые и изоморфны между собой.*

Доказательство. В силу простоты R всякое представление $x \to U_x$ кольца R есть изоморфизм, и потому U_R — простое кольцо. Далее, если $x \to U_x$, $x \to V_x$ — представления кольца R, то соответствия $U_x \to x \to V_x$ порождают изоморфизм колец U_R и V_R.

VII. *Всякий фактор конечного класса, а также всякий фактор класса* III *есть кольцо простого типа, и все его представления изоморфны между собой.*

Действительно, всякий такой фактор есть простое кольцо (см. ([5]), § 4), и утверждение следует из VI.

Теперь легко привести пример изоморфных, но неэквивалентных неприводимых представлений. Пусть R — фактор класса II_1 (или III). В силу VII все его представления, в частности все его неприводимые представления, изоморфны между собой. С другой стороны, все его неприводимые представления не могут быть эквивалентными между собой, ибо тогда R было бы изоморфным кольцу всех вполне непрерывных операторов (см. ([2]), п. 2, § 22 и ([6])), что невозможно.

VIII. *Если $x \to U_x$, $x \to V_x$ — простые неизоморфные между собой представления кольца R, то для любых $A \in U_R$, $B \in V_R$ существует элемент $x \in R$ такой, что $U_x = A$, $V_x = B$.*

Доказательство. Положим $I = \{x : x \in R, \ U_x = 0\}$. Очевидно, I — замкнутый двусторонний идеал в R. Пусть I_1 — образ I при

отображении $x \to V_x$; так как это отображение — симметричный гомоморфизм полного вполне регулярного кольца I, то I_1 также полно и потому — замкнутый (собственный или несобственный) двусторонний идеал в V_R. Но, по условию, V_R — простое кольцо, так что либо $I_1 = (0)$, либо $I_1 = V_R$. Первый случай означает, что каждый раз, когда $U_x = 0$, также $V_x = 0$, следовательно, что, вопреки условию, представления $x \to U_x$, $x \to V_x$ изоморфны. Поэтому $I_1 = R$, т. е. для любого $B \in V_R$ существует такой элемент $x_1 \in R$, что $U_{x_1} = 0$, $V_{x_1} = B$. Аналогично, существует такой элемент $x_2 \in R$, что $U_{x_2} = A$, $V_{x_2} = 0$. Полагая $x = x_1 + x_2$, получим: $U_x = A$, $V_x = B$.

Применим предложение VIII к непрерывным суммам представлений. Пусть T — бикомпактное пространство, μ — борелевская мера на T, причем T есть носитель меры μ. Пусть каждому $t \in T$ поставлено в соответствие представление $x \to U_x(t)$ в гильбертовом пространстве $\mathfrak{H}(t)$, так что выполнены следующие условия:

1) $\mathfrak{H}(t)$ — μ-измеримое семейство;
2) $U_x(t)$ — μ-измеримая функция от t при каждом $x \in R$;
3) $|U_x(t)|$ — непрерывная функция от t при каждом $x \in R$.

В дальнейшем мы без всяких оговорок будем считать эти условия выполненными и через $x \to U_x$ обозначать представление в пространстве $\mathfrak{H} = \int_T \mathfrak{H}(t) \sqrt{d\mu(t)}$, являющееся непрерывной суммой представлений $x \to U_x(t)$.

Теорема 1. *Пусть R — кольцо с единицей и пусть $x \to U_x(t)$ — попарно неизоморфные простые представления кольца R. Тогда U_R содержит все функции $\alpha(t)\,1$, где $\alpha(t) \in C(t)$.*

Доказательство. В силу VIII U_R удовлетворяет всем условиям теоремы 4, п. 4, § 26 в [2].

Следствие 1. *Пусть выполнены все условия теоремы* 1; *тогда $(U_R)'$ состоит из тех и только тех $A \in B(\mathfrak{H})$, которые представляются в виде $A = \{A(t)\}$, где $A(t) \in (U(t)_R)'$ для почти каждого $t \in T$.*

Утверждение непосредственно следует из IV, п. 5, § 26 в [2] и теоремы 1.

Следствие 2. *Пусть выполнены все условия теоремы* 1 *и пусть, кроме того, все представления $x \to U_x(t)$ неприводимы; тогда $(U_R)'$ совпадает с $(U_R)' \cap (U_R)''$ и есть совокупность всех $A = \{\alpha(t)\,1\}$, $\alpha(t) \in L^\infty_\mu(T)$.*

Доказательство. В силу неприводимости представления $x \to U_x(t)$ кольцо $(U_R)'$ состоит из скаляров; поэтому второе утверждение непосредственно вытекает из следствия 1. Но тогда $(U_R)'$ коммутативно, следовательно, $(U_R)' = (U_R)' \cap (U_R)''$.

Следствие 3. *Пусть выполнены те же условия, что и в следствии* 2. *Тогда $(U_R)''$ есть фактор в том и только том случае, когда T состоит из одной точки.*

Действительно, только в этом случае $L^\infty_\mu(T)$ есть кольцо скаляров.

Существенным усилением следствия 3 является:

Теорема 2. *Пусть R — кольцо с единицей и пусть $x \to U_x(t)$ — простое представление кольца R при каждом $t \in T$. Если тогда $(U_R)''$ — фактор, то все представления $t \to U_x(t)$ изоморфны между собой.*

Доказательство. Предположим противное; тогда существуют t_1, $t_2 \in T$ $(t_1 \neq t_2)$ такие, что представления $x \to U_x(t_1)$, $x \to U_x(t_2)$ неизоморфны. В силу I это означает, что существует $x_0 \in R$ такой, что $|U_{x_0}(t_1)| \neq |U_{x_0}(t_2)|$. Но тогда, в силу условия 3), существуют окрестности $\mathfrak{A}(t_1)$, $\mathfrak{A}(t_2)$ точек t_1, t_2 такие, что $|U_{x_0}(t')| \neq |U_{x_0}(t'')|$ при $t' \in \mathfrak{A}(t_1)$, $t'' \in \mathfrak{A}(t_2)$.

Сузив, если надо, эти окрестности, мы можем считать, что

$$|U_{x_0}(t')| \neq |U_{x_0}(t'')| \quad \text{при } t' \in \overline{\mathfrak{A}(t_1)},\ t'' \in \overline{\mathfrak{A}(t_2)}, \tag{2}$$

где черта обозначает замыкание. Положим $T_1 = \overline{\mathfrak{A}(t_1)} \cup \overline{\mathfrak{A}(t_2)}$ и обозначим через $\mathfrak{H}_1$ совокупность всех $\xi = \{\xi(t)\} \in \mathfrak{H}$ таких, что $\xi(t) = 0$ при

$\in T_1$. Тогда $\mathfrak{H}_1$ — инвариантное подпространство для U_R. Пусть U_{R1} — ужение U_R на $\mathfrak{H}_1$; тогда $(U_{R1})''$ — также фактор.

В силу (2) представления $x \to U_x(t')$, $x \to U_x(t'')$ неизоморфны при $' \in \mathfrak{A}(\overline{t_1})$, $t'' \in \mathfrak{A}(\overline{t_2})$. Поэтому, пользуясь предложением VIII и рассуждая как в начале доказательства теоремы 4, п. 4, § 26 в [2], заключаем, что в U_{R1} существует функция $A = \{A(t)\}$ такая, что $A(t) = 0$ при $t \in \overline{\mathfrak{A}(t_1)}$, $A(t) = 1$ при $t \in \mathfrak{A}(\overline{t_2})$.

Эта функция принадлежит центру кольца U_{R1}, а значит, и кольца $(U_{R1})''$. Но тогда центр кольца $(U_{R1})''$ состоит не из одних скаляров, т. е., вопреки предыдущему, $(U_{R1})''$ не фактор.

Замечание 3. Теоремы 1, 2 и следствия 1—3 легко распространяются (с надлежащими изменениями в их формулировках) на локально бикомпактные пространства T (см. по этому поводу замечание 3 на стр. 308 [2]); мы ограничились случаем бикомпактного T для упрощения изложения.

Замечание 4. Введенные здесь понятия изоморфности представлений и простого представления легко переносятся на унитарные представления локально бикомпактной группы G. Пусть $R(G)$ обозначает пополнение группового кольца $L^1(G)$ в минимальной регулярной норме. Представления $g \to U_g$, $g \to V_g$ называются изоморфными, если изоморфны соответствующие представления $x \to U_x$, $x \to V_x$ кольца $R(G)$; представление $g \to U_g$ называется простым, если соответствующее представление $x \to U_x$ кольца $R(G)$ простое. Наконец, группа G называется группой простого типа, если $R(G)$ — кольцо простого типа.

Остается теперь применить предыдущие результаты к кольцу $R(G)$.

Поступило
10 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] G. W. Mackey, Am. J. Math., 73, 576 (1951). [2] М. А. Наймарк, Нормированные кольца, М., 1956. [3] G. W. Mackey, Ann. of Math., 58, 193 (1953). [4] I. Kaplansky, Trans. Am. Math. Soc., 70, 219 (1951). [5] И. М. Гельфанд, М. А. Наймарк, Матем. сборн., 12 (54), 197 (1943). [6] A. Rosenberg, Am. J. Math., 75, 523 (1953).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

Член-корреспондент АН СССР А. В. ПОГОРЕЛОВ

ОБ ИЗОМЕТРИЧЕСКОМ ПОГРУЖЕНИИ В ЦЕЛОМ ДВУМЕРНОГО РИМАНОВА МНОГООБРАЗИЯ В ТРЕХМЕРНОЕ

Пусть R — трехмерное риманово пространство и M — двумерное риманово многообразие, гомеоморфное сфере. Проблема, которую мы рассматриваем в настоящей заметке, состоит в построении регулярной поверхности F, изометричной M, в пространстве R. Эта проблема поставлена автором в работе (1) и решена там при условии, что гауссова кривизна погружаемого многообразия M больше некоторой постоянной k^*, зависящей от кривизны пространства R.

$$k^* = \max_R \max_P \{k_1, 3(k_1 - k_2)\},$$

где k_1 и k_2 — соответственно наибольшая и наименьшая из кривизн пространства в двумерных площадках, проходящих через точку P. Нам удалось значительно улучшить этот результат для случая пространств неположительной кривизны, так что теорема об изометрическом погружении M в R для такого рода пространств приняла в известном смысле окончательную форму.

Теорема 1. *Пусть R — полное трехмерное риманово пространство с кривизной в двумерных площадках не большей $c_0 \leqslant 0$; M — замкнутое, гомеоморфное сфере, двумерное многообразие с гауссовой кривизной, всюду большей c_0.*

Тогда, если метрика пространства R и многообразия M достаточно регулярны, то многообразие M изометрически погружается в R в виде некоторой регулярной поверхности F.

Более того, это погружение можно осуществить так, чтобы данный двумерный элемент α многообразия M (точка и пучок направлений в ней) совпадал с данным, изометричным α, двумерным элементом α' пространства R и поверхность F располагалась по данную сторону от площадки элемента α'.

Если метрика пространства R и многообразия M k раз дифференцируемы ($k \geqslant 6$), то поверхность F дифференцируема по крайней мере $k-2$ раз. Если метрика пространства и многообразия аналитические, то поверхность F аналитическая.

Определяемое указанными условиями погружение M в R однозначно.

Утверждение единственности поверхности F, фиксированной двумерным элементом в теореме 1, дополняется следующей теоремой об изометрических преобразованиях свободной поверхности.

Теорема 2. *Пусть в полном римановом пространстве с регулярной метрикой и кривизной, всюду не большей $c_0 \leqslant 0$, даны две регулярные, одинаково ориентированные, гомеоморфные сфере поверхности с гауссовой кривизной, большей c_0. Тогда существует непрерывное изгибание одной поверхности в другую, т. е. непрерывная деформация с сохранением метрики поверхности.*

Доказательство теоремы 1, так же как и в работе (1), состоит из трех пунктов. Во-первых, доказывается существование непрерывного семейства многогранников M_t, содержащее данное многообразие M и многообразие M_0, заведомо погружаемое. Во-вторых, доказывается, что если многообразие M_t погружаемо, то близкие к нему многообразия семейства также погружаемы. Наконец, доказывается, что если каждое многообразие M_{t_n} семейства погружаемо и $t_n \to t^*$, то многообразие M_{t^*} погружаемо.

По поводу доказательств утверждений, содержащихся в этих трех пунктах, заметим следующее. Доказательство утверждения о том, что многообразия M_t, близкие к погружаемому, погружаемы, данное в работе (1), существенно опирается только на то, что гауссова кривизна многообразий M_t больше кривизны пространства. Поэтому, если мы сумеем построить семейство многообразий M_t таким образом, чтобы их гауссовы кривизны были больше c_0, то утверждение второго пункта можно считать доказанным.

Доказательство утверждения, содержащегося в третьем пункте о погружении многообразия M_{t^*}, существенно опирается только на возможность установления априорных оценок для нормальных кривизн поверхностей F_t, изометричных многообразиям M_t. Условие погружения $k > k^*$ в работе (1) и было вызвано тем, что только при этом условии получались оценки для нормальных кривизн поверхностей F_t. В случае пространств неположительной кривизны мы можем теперь ослабить условие получения априорных оценок для требования положительности внешней кривизны поверхности. Таким образом, утверждение третьего пункта можно считать доказанным, если все многообразия M_t семейства имеют гауссовы кривизны, бо́льшие c_0.

Остается построить непрерывное семейство многообразий M_t, содержащее многообразие M и многообразие M_0, заведомо погружаемое, так, чтобы гауссовы кривизны многообразий были больше c_0. Такое семейство построить нетрудно. Возьмем в пространстве R малую сферу ω, касающуюся двумерного элемента α' в его центре. Внешняя кривизна ω положительна, следовательно, гауссова кривизна больше c_0. Построим теперь в пространстве Лобачевского с кривизной c_0 (в случае $c_0 = 0$ в эвклидовом пространстве) поверхности $\bar{F}$ и $\bar{\omega}$, изометричные соответственно M и ω. Построение таких поверхностей гарантируется теорией А. Д. Александрова о реализации абстрактно заданной метрики выпускной поверхностью в пространстве Лобачевского (2). Поверхности $\bar{F}$ и $\bar{\omega}$ регулярны (3). Отобразим пространство Лобачевского с поверхностями $\bar{F}$ и $\bar{\omega}$ геодезически на внутренность эвклидова шара и построим линейное семейство поверхностей $\tilde{F}_t$, соединяющее образы поверхностей $\bar{F}$ и $\bar{\omega}$ внутри шара. Поверхности $\bar{F}_t$ пространства Лобачевского, соответствующие поверхностям $\tilde{F}_t$, строго выпуклы, их внешние кривизны положительны, а следовательно, гауссовы кривизны больше c_0. Семейство поверхностей $\bar{F}_t$ с их естественной метрикой и есть требуемое семейство многообразий M_t.

Существенно новым в доказательстве теоремы 1 по сравнению с доказательством в работе (1) является установление априорных оценок нормальных кривизн при условии только положительности внешней кривизны поверхности. Мы можем создать некоторое представление о методе получения оценок, если скажем, что он очень отдаленно напоминает метод получения оценок для выпуклых поверхностей в пространстве Лобачевского (3).

Физико-технический институт низких температур
Академии наук УССР

Поступило
15 XII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. В. Погорелов, Некоторые вопросы геометрии в целом в римановом пространстве, Харьков, 1957. [2] А. Д. Александров, Внутренняя геометрия выпуклых поверхностей, 1948. [3] А. В. Погорелов, ДАН, 137, № 1 (1961).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

О. С. РЕДОЗУБОВА

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ПАР T КОНГРУЭНЦИЙ

(Представлено академиком П. С. Новиковым 17 X 1960)

1. Рассматриваются пары T конгруэнций ([1]), у которых на соответствующих лучах равны фокальные расстояния и равны углы между фокальными плоскостями. Вершина O прямоугольного трехгранника помещается на луче конгруэнции общих перпендикуляров, вектор $\mathbf{e}_3$ направлен по лучу. Компоненты ω^i, ω_i^j инфинитезимального перемещения трехгранника $\{O\mathbf{e}_1\mathbf{e}_2\mathbf{e}_3\}$ определяются уравнениями

$$d\vec{O} = \mathbf{e}_i\omega^i, \quad d\mathbf{e}_i = \omega_i^j\mathbf{e}_j \quad (i, j = 1, 2, 3),$$

причем $\omega_i^j = -\omega_j^i$, $\omega_i^i = 0$, ибо $\mathbf{e}_i$ — единичные векторы.

Такие пары могут быть двух типов. Пары T 1-го типа определяются системой уравнений

$$\rho_1 = \rho_2, \quad \rho_1' = \rho_2',$$
$$A_k = H_{k3} + \Omega_{k3}\frac{\rho_1 + \rho_1'}{h_1 - h_2}, \tag{1}$$
$$\frac{\Omega_k^* + h_k\Omega_{k3}^*}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} = \Omega_{k3}\frac{\rho_1\rho_1'}{h_1 - h_2} \quad (k = 1, 2).$$

Через h_k обозначены абсциссы точек пересечения лучей пары с лучами конгруэнции общих перпендикуляров, отсчитываемые от точки O; α_k — углы, которые образуют лучи пары с вектором $\mathbf{e}_1$; ρ_k, ρ_k' — абсциссы фокусов F_k, F_k' конгруэнций пары, отсчитываемые от точек пересечения с лучами конгруэнции общих перпендикуляров. Здесь

$$\Omega_k^* = \omega^1\sin\alpha_k - \omega^2\cos\alpha_k, \quad \Omega_k = \omega^1\cos\alpha_k + \omega^2\sin\alpha_k,$$
$$\Omega_{k3}^* = -\omega_1^3\sin\alpha_k + \omega_2^3\cos\alpha_k, \quad \Omega_{k3} = \omega_1^3\cos\alpha_k + \omega_2^3\sin\alpha_k,$$
$$A_k = \frac{\omega_1^2 + d\alpha_k}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)}, \quad H_k = \frac{\omega^3 + dh_k}{h_1 - h_2}.$$

Пары T конгруэнций 1-го типа существуют с произволом в 4 функции одного аргумента. Из уравнений системы следует, что *каждая пара соответствующих лучей равнонаклонна к биссектрисам фокальных плоскостей и находится на равных расстояниях от центра луча конгруэнции общих перпендикуляров*, т. е. пары являются симметричными. Известно ([2]), что они расслояемы. Для таких пар: 1) расстояние между граничными точками конгруэнции общих перпендикуляров равно отношению расстояния между соответствующими лучами пары к синусу угла между ними; 2) произведение абсцисс фокусов равно произведению квадрата расстояния между граничными точками конгруэнции общих перпендикуляров на синусы углов, образуемых каждым из лучей пары с фокальными плоскостями этой конгруэнции.

Если пары T конгруэнций 1-го типа ортогональны, то они существуют с произволом в 9 произвольных постоянных.

Конгруэнции пар 1-го типа не могут быть нормальными.

Пары T конгруэнций 1-го типа, лучи которых пересекаются лучами конгруэнции общих перпендикуляров в центрах, существуют с произволом в 3 функции одного аргумента. Такие пары имеют соответственно равные расстояния лучей дополнительных конгруэнций F_1F_2 и $F_1'F_2'$, а также углы между фокальными плоскостями соответствующих лучей этих конгруэнций.

2. Пары T конгруэнций 2-го типа определяются системой уравнений

$$\rho_1 = -\rho_2', \quad \rho_2 = -\rho_1', \quad H_k = A_k, \tag{2}$$

$$\frac{\Omega_k^* + h_k \Omega_{k3}^*}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} = H_k(\rho_1 - \rho_2) - \rho_1\rho_2 \frac{\Omega_{k3}}{h_1 - h_2}.$$

Такие пары конгруэнций существуют с произволом в 1 функцию 2 аргументов и обладают тем свойством, что фокальные расстояния лучей дополнительных конгруэнций равны между собой. Таким же свойством обладают и углы между фокальными плоскостями этих лучей.

Если пары T конгруэнций 2-го типа имеют постоянные расстояния между соответствующими лучами, то они существуют с произволом в 3 функции одного аргумента. Для таких пар будет $H_1 = H_2$ и верна:

Теорема 1. *Для того чтобы пары T конгруэнций 2-го типа имели постоянные углы между соответствующими лучами, необходимо и достаточно, чтобы было постоянно расстояние между этими лучами.*

Ортогональные пары T 2-го типа существуют с произволом в 3 функции одного аргумента.

Если обе конгруэнции пары нормальные, то к системе уравнений (2) присоединяется уравнение

$$\rho_1 d\rho_2 + \rho_2 d\rho_1 = 2(H_1 - H_2) \frac{(h_1 - h_2)^2 \{1 - \cos(\alpha_1 - \alpha_2)\}}{\sin^2(\alpha_1 - \alpha_2)}. \tag{3}$$

Пара таких конгруэнций существует с произволом в 3 функции одного аргумента.

Интересным особым решением является случай $H_1 = H_2$. Для таких пар расстояние между соответствующими лучами пары постоянно; с другой стороны, постоянен и угол между ними. Тогда из уравнения (3) следует, что и $\rho_1\rho_2 = \text{const}$. Обратное верно.

Теорема 2. *Для того чтобы пары T нормальных конгруэнций с равными фокальными расстояниями и углами между фокальными плоскостями обладали тем свойством, что углы и расстояния между соответствующими лучами постоянны, необходимо и достаточно, чтобы произведение абсцисс фокусов каждого луча было постоянным.*

Такие пары существуют с произволом в 2 функции одного аргумента.

Если соответствующие лучи конгруэнций пары 2-го типа пересекаются в центрах лучами конгруэнции общих перпендикуляров, то такие пары являются парами T 1-го типа, и, наоборот, если лучи конгруэнций пары T 1-го типа пересекаются лучами конгруэнции общих перпендикуляров в центрах, то они являются парами T 2-го типа. Для пар T 1-го и 2-го типов верна теорема:

Теорема 3. *Для того чтобы пары T конгруэнций с равными фокальными расстояниями и углами между фокальными плоскостями были одновременно парами 1-го и 2-го типов, необходимо и достаточно, чтобы лучи конгруэнции общих перпендикуляров пересекали соответствующие лучи в центрах.*

3. Рассматриваются пары T конгруэнций, соответствующие лучи которых пересекаются лучами конгруэнции общих перпендикуляров в центрах.

Такие пары определяются системой уравнений

$$A_1 = \frac{\rho_2}{\rho_1} H_1, \quad A_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} H_2,$$

$$\frac{\Omega_k^* + h_k \Omega_{k3}^*}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} = -\Omega_{k3} \frac{\rho_1 \rho_2}{h_1 - h_2}. \tag{4}$$

Они существуют с произволом в 4 функции одного аргумента и обладают следующими свойствами: 1) пары являются симметричными и расслояемыми; 2) фокальные расстояния лучей дополнительных конгруэнций, а также углы между их фокальными плоскостями равны между собой; 3) расстояние между граничными точками конгруэнции общих перпендикуляров равно отношению расстояния между соответствующими лучами к синусу угла между ними; 4) произведение абсцисс фокусов каждого из соответствующих лучей равно произведению квадрата расстояния между граничными точками конгруэнции общих перпендикуляров и синусов углов, образуемых каждым из лучей пары с фокальными плоскостями этой конгруэнции.

Для того чтобы пары T, соответствующие лучи которых пересекаются в центрах лучами конгруэнции общих перпендикуляров, имели равные фокальные расстояния, необходимо и достаточно, чтобы и углы между их фокальными плоскостями были соответственно равны между собой.

Особое решение приводит к парам T конгруэнций одновременно 1-го и 2-го типов.

Государственный педагогический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
17 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] С. П. Фиников, Теория пар конгруэнций, 1956. [2] О. С. Редозубова, Уч. зап. Моск. гос. пед. инст. им. В. И. Ленина, 108 (1957).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

Академик Б. С. СТЕЧКИН и С. Б. СТЕЧКИН

СРЕДНЕЕ КВАДРАТИЧЕСКОЕ И СРЕДНЕЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ

Пусть $y(x) \in L^2[0, 1]$. Положим

$$\varphi_0(x) = y(x), \quad y_0 = \int_0^1 |\varphi_0(x)|\,dx,$$

$$\varphi_k(x) = |\varphi_{k-1}(x)| - y_{k-1}, \quad y_k = \int_0^1 |\varphi_k(x)|\,dx \quad (k = 1, 2, \ldots).$$

Тогда справедлива формула

$$\int_0^1 y^2(x)\,dx = \sum_{k=0}^{\infty} y_k^2 = \sum_{k=0}^{\infty} \left\{\int_0^1 |\varphi_k(x)|\,dx\right\}^2. \tag{1}$$

Эта формула связывает среднее квадратическое функции $y(x)$ со средними арифметическими функций $|\varphi_k(x)|$, весьма просто зависящих от $y(x)$.

Применяя тождество

$$\int_0^1 \varphi^2(x)\,dx = \left\{\int_0^1 \varphi(x)\,dx^2\right\} + \int_0^1 \left\{\varphi(x) - \int_0^1 \varphi(t)\,dt\right\}^2 dx$$

к функциям $|\varphi_k(x)|\,(k = 0, 1, \ldots, n-1)$, выводим, что

$$\int_0^1 \varphi_k^2(x)\,dx = y_k^2 + \int_0^1 \varphi_{k+1}^2(x)\,dx \quad (k = 0, 1, \ldots, n-1),$$

откуда

$$\int_0^1 y^2(x)\,dx = \sum_{k=0}^{n-1} y_k^2 + \int_0^1 \varphi_n^2(x)\,dx; \tag{2}$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} y_k^2 \leqslant \int_0^1 y^2(x)\,dx. \tag{3}$$

Остается показать, что для любой функции $y(x)$ это неравенство обращается в равенство, т. е. что

$$\int_0^1 \varphi_n^2(x)\,dx \to 0 \quad (n \to \infty). \tag{4}$$

Для этого нам понадобятся две леммы.

Лемма 1. *Пусть $p \geqslant 0$ и на множестве E, $\operatorname{mes} E = \delta > 0$, выполняется неравенство $|\varphi_p(x)| \geqslant M$. Тогда*

$$K_p = \sum_{k=p}^{\infty} y_k \geqslant M. \tag{5}$$

Доказательство. Допустим, что $K_p < M$, и придем к противоречию. Имеем на множестве E

$$\varphi_{p+1}(x) = |\varphi_p(x)| - y_p \geqslant M - y_p \geqslant M - K_p > 0,$$
$$\varphi_{p+2}(x) = |\varphi_{p+1}(x)| - y_{p+1} \geqslant M - y_p - y_{p+1} \geqslant M - K_p > 0,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\varphi_n(x) \geqslant M - K_p > 0 \quad (n = p+1,\ p+2, \ldots).$$

Отсюда

$$y_n = \int_0^1 |\varphi_n(x)|\,dx \geqslant \int_E |\varphi_n(x)|\,dx \geqslant \delta(M - K_p) \quad (n = p+1,\ p+2, \ldots),$$

что противоречит условию $y_n \to 0$ $(n \to \infty)$ (см. (3)). Неравенство (5) доказано.

Лемма 2. *Пусть* $0 \leqslant p \leqslant n$. *Положим* $\varepsilon_p = \max\limits_{m \geqslant p} y_m$.

1) *Если в точке* $x_0 \in [0, 1]$

$$|\varphi_p(x_0)| \geqslant \sum_{k=p}^{n} y_k,$$

то

$$|\varphi_{n+1}(x_0)| = |\varphi_p(x_0)| - \sum_{k=p}^{n} y_k.$$

2) *Если в точке* $x_0 \in [0, 1]$

$$|\varphi_p(x_0)| < \sum_{k=p}^{n} y_k,$$

то

$$|\varphi_{n+1}(x_0)| \leqslant \varepsilon_p.$$

Доказательство. 1) Имеем

$$\varphi_{p+1}(x_0) = |\varphi_p(x_0)| - y_p \geqslant \sum_{k=p+1}^{n} y_k \geqslant 0,$$

$$\varphi_{p+2}(x_0) = |\varphi_{p+1}(x_0)| - y_{p+1} = |\varphi_p(x_0)| - (y_p + y_{p+1}) \geqslant \sum_{k=p+1}^{n} y_k$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\varphi_{n+1}(x_0) = |\varphi_n(x_0)| - y_n = \varphi_n(x_0) - y_n = |\varphi_p(x_0)| - \sum_{k=p}^{n} y_k \geqslant 0,$$

т. е.

$$|\varphi_{n+1}(x_0)| = |\varphi_p(x_0)| - \sum_{k=p}^{n} y_k.$$

2) Найдем номер m $(p \leqslant m \leqslant n)$ такой, что

$$\sum_{k=p}^{m-1} y_k \leqslant |\varphi_p(x_0)| < \sum_{k=p}^{m} y_k.$$

Тогда, согласно пункту 1),

$$|\varphi_m(x_0)| = |\varphi_p(x_0)| - \sum_{k=p}^{m-1} y_k$$

Далее имеем

$$\varphi_{m+1}(x_0) = |\varphi_m(x_0)| - y_m = |\varphi_p(x_0)| - \sum_{k=p}^{m} y_k < 0,$$

$$|\varphi_{m+1}(x_0)| \leqslant y_m \leqslant \varepsilon_p,$$

$$\varphi_{m+2}(x_0) = |\varphi_{m+1}(x_0)| - y_{m+1} \leqslant |\varphi_{m+1}(x_0)| \leqslant \varepsilon_p,$$

$$\varphi_{m+2}(x_0) \geqslant -y_{m+1} \geqslant -\varepsilon_p,$$

т. е.

$$|\varphi_{m+2}(x_0)| \leqslant \varepsilon_p, \ldots, |\varphi_{n+1}(x_0)| \leqslant \varepsilon_p;$$

и лемма доказана.

Переходим к доказательству соотношения (4). Рассмотрим два случая. 1-й случай. $\sup\limits_x |\varphi_0(x)| = M_0 < \infty$ *. Тогда, очевидно, для любого $p \geqslant 0$ $\sup\limits_x |\varphi_p(x)| = M_p < \infty$. Зафиксируем $\varepsilon > 0$, и пусть p настолько велико, что

$$\varepsilon_p = \max_{m \geqslant p} y_m \leqslant \varepsilon.$$

Согласно лемме 1 мы можем найти номер $n = n(\varepsilon)$, для которого

$$\sum_{k=p}^{n} y_k \geqslant M_p - \varepsilon_p.$$

Тогда по лемме 2 для почти всех x, для которых

$$|\varphi(x)| \geqslant \sum_{k=p}^{n} y_k,$$

выполняется неравенство

$$|\varphi_{n+1}(x)| = |\varphi_p(x)| - \sum_{k=p}^{n} y_k \leqslant M_p - (M_p - \varepsilon_p) = \varepsilon_p,$$

а для всех x, для которых

$$|\varphi_p(x)| < \sum_{k=p}^{n} y_k,$$

выполняется неравенство

$$|\varphi_{n+1}(x)| \leqslant \varepsilon_p.$$

Отсюда

$$\sup_x |\varphi_{n+1}(x)| \leqslant \varepsilon_p \leqslant \varepsilon,$$

$$r_{n+1}^2 = \int_0^1 \varphi_{n+1}^2(x)\,dx \leqslant \varepsilon^2.$$

Так как, кроме того, $r_{n+1}^2 = y_{n+1}^2 + r_{n+2}^2 \geqslant r_{n+2}^2$, то $r_n^2 \to 0$ $(n \to \infty)$. Отметим, что в этом случае $M_n \to 0$ $(n \to \infty)$ и для любого $n \geqslant 0$

$$\int_0^1 y^2(x)\,dx = \sum_{k=0}^{n} y_k^2 + \theta_n M_n^2 \quad (0 \leqslant \theta_n \leqslant 1).$$

---

* Здесь и ниже $\sup\limits_x |\varphi(x)|$ обозначает существенную верхнюю грань функции $\varphi(x)|$ на отрезке [0,1].

2-й случай. $\sup\limits_x |\varphi_0(x)| = \infty$. Тогда для любого $p \geqslant 0$

$$\sup_x |\varphi_p(x)| = \infty.$$

Зафиксируем $\varepsilon > 0$ и найдем $p \geqslant 0$ и $N > 0$ такие, чтобы

$$\varepsilon_p \leqslant \varepsilon, \quad \int\limits_{|\varphi_p| \geqslant N} \varphi_p^2(x)\, dx \leqslant \varepsilon^2.$$

По лемме 1 для всех достаточно больших n имеем

$$K_{p,n} = \sum_{k=p}^{n} y_k > N.$$

Отсюда, как и выше,

$$r_{n+1}^2 = \int_0^1 \varphi_{n+1}^2(x)dx = \int\limits_{|\varphi_p| \geqslant K_{p,n}} \varphi_{n+1}^2(x)\, dx + \int\limits_{|\varphi_p| < K_{p,n}} \varphi_{n+1}^2(x)\, dx \leqslant$$

$$\leqslant \int\limits_{|\varphi_p| \geqslant N} \varphi_p^2(x)\, dx + \varepsilon_p^2 \leqslant 2\varepsilon^2,$$

и, следовательно, $r_n^2 \to 0$ $(n \to \infty)$.

Таким образом, в обоих случаях

$$\int_0^1 \varphi_n^2(x)\, dx \to 0 \quad (n \to \infty),$$

и формула (1) доказана.

Поступило
14 XII 1960

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИКА

Д. С. ФАЕРМАРК

АЛГОРИТМ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ТОЖДЕСТВА СЛОВ В НИЛЬПОТЕНТНОМ ПРОИЗВЕДЕНИИ ГРУПП, ЗАДАННЫХ КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ ОБРАЗУЮЩИХ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СООТНОШЕНИЙ

(Представлено академиком А. И. Мальцевым 17 X 1960)

Пусть группа G_1, заданная образующими a_k, $k = 1, \ldots, N_1$, и соотношениями $v_i = 1$, $i = 1, \ldots, M_1$, и группа G_2 с образующими b_m, $m = 1, \ldots, N_2$, и соотношениями $w_j = 1$, $j = 1, \ldots, M_2$, таковы, что для них существует алгоритм тождества слов. Рассматривается вопрос о существовании алгоритма тождества в их n-м нильпотентном ([1,5]) произведении $G = G_1 (n) G_2$. (Обозначения введены так, что нижним центральным рядом группы является ряд $G \supset G^{(1)} \supset G^{(2)} \ldots$ и прямое произведение есть первое нильпотентное.) Известно ([1]), что каждый элемент $h \in G$ имеет однозначную «правильную» запись вида

$$h = g_1 g_2 u, \tag{1}$$

где $g_1 \in G_1$, $g_2 \in G_2$ и элемент u лежит во взаимном коммутанте $[G_1, G_2]^G$ подгрупп G_1 и G_2 группы G. Следовательно, $h = h'$ тогда и только тогда, когда имеют место равенства

$$g_1 = g_1'; \quad g_2 = g_2'; \quad u = u'.$$

Элемент $h \in G$, записанный как слово в образующих a_k и b_m группы G, как указано в ([1]), может быть в конечное число шагов приведен к виду (1).

Так как в G_1 и G_2 существуют алгоритмы тождества, то для решения вопроса нужно задать алгоритм тождества во взаимном коммутанте $[G_1, G_2]^G$. В ([2]) описан алгоритм тождества слов в нильпотентной конечно определенной группе. Так как $[G_1, G_2]^G$ нильпотентен ([1]), то остается конструктивно через a_k и b_m задать конечную систему образующих и определяющих соотношений для $[G_1, G_2]^G$.

Рассмотрим сначала $F = F_1 (n) F_2$ — нильпотентное произведение свободных групп F_1 и F_2 с свободными образующими a_k, $k = 1, \ldots, N_1$ и b_m, $m = 1, \ldots, N_2$. В них выделены системы слов $v_i \in F_1$, $i = 1, \ldots, M_1$, и $w_j \in F_2$, $j = 1, \ldots, M_2$.

Так как нильпотентные произведения удовлетворяют постулату Маклейна ([6]), то $G \cong F/N$, где $N = \{\overline{v_i, w_j}\}^F$ и $[G_1, G_2]^G \cong [F_1, F_2]^G / N \cap [F_1, F_2]^F$.

Вопрос будет решен, если будет найдена конечная система образующих и определяющих соотношений для $[F_1, F_2]^F$ и конечная система элементов, записанных в этих образующих, порождающая подгруппу $K = N \cap [F_1, F_2]^F$.

Пусть A — свободная группа с конечным числом образующих $g_1, \ldots, g_m$ и $g_1, \ldots, g_m, \ldots, g_r$ — все базисные коммутаторы ([3,4]) веса от 1 до n включительно. Тогда имеют место формулы коммутирования

$$g_j^{\varepsilon} g_i^{\delta} \equiv g_i^{\delta} g_j^{\varepsilon} g_{j+1}^{\mu_{j+1}} \ldots g_r^{\mu_r} \pmod{A^{(n)}}, \tag{2}$$

где $r \geqslant j > i$; $\varepsilon, \delta = \pm 1$ и $\mu_s = \mu_s(\varepsilon, \delta, i, j)$. Кроме того, всякий элемент $g \in A$ имеет однозначную каноническую запись по модулю $A^{(n)}$

$$g \equiv g_1^{\alpha_1} \ldots g_m^{\alpha_m} \ldots g_r^{\alpha_r} \pmod{A^{(n)}}. \tag{3}$$

Алгоритм вычисления показателей μ_s и α_i описан в работе ([4]).

Очевидно, «базисные» коммутаторы могут быть построены на произвольном конечном множестве элементов любой группы, причем сохраняются формулы (2) и существование записи (3) вместе с алгоритмами вычисления μ_s (не будет только однозначности записи (3)). Сформулируем без доказательства два очевидные свойства системы базисных коммутаторов.

Лемма 1. *Выделим из системы σ всех базисных коммутаторов свободной группы A подсистему σ' всех тех коммутаторов, в записях которых через свободные образующие g_i участвуют только некоторые фиксированные свободные образующие g_{i_k} группы A. Тогда σ' есть система базисных коммутаторов для группы A', порожденной элементами g_{i_k}.*

Лемма 2. *Пусть k — коммутатор (не обязательно базисный), компонентами которого являются некоторые из свободных образующих g_{i_k} группы A. Тогда в каждый базисный коммутатор, входящий в ненулевой степени в каноническую запись элемента k, входит каждый из образующих g_{i_k}.*

Пусть теперь F_1 и F_2 — свободные группы с системами свободных образующих a_k и b_m соответственно и $F = F_1(n) F_2$. Построим в F на образующих a_k и b_m систему базисных коммутаторов c_s, считая, что $c_s = a_s$ при $1 \leqslant s \leqslant N_1$ и $c_s = b_{s-N_1}$ при $N_1 + 1 \leqslant s \leqslant N_1 + N_2$.

Теорема 1. *В группе $F = F_1(n) F_2$ те из базисных коммутаторов c_s веса $\omega(c_s)$, $2 \leqslant \omega(c_s) \leqslant n$, в запись каждого из которых входят как элементы из числа a_k, так и элементы из числа b_m, составляют систему образующих для $[F_1, F_2]^F$.*

Доказательство. Рассмотрим свободное произведение $H = F_1 * F_2$. Всякий элемент $h \in H$ обладает единственной записью вида

$$h = c_1^{\alpha_1} \ldots c_l^{\alpha_l} u, \tag{4}$$

где $u \in H^{(n)}$. Пусть $h \in [F_1, F_2]^H$ и φ — проекция H на F_1, т. е. естественный гомоморфизм H на F_1 с ядром гомоморфизма $\overline{F}_2^H$. Обозначим через c_{i_k} базисные коммутаторы, составленные только из элементов $a_1, \ldots, a_{N_1}$. Так как $h \in [F_1, F_2]^F$, то

$$1 = h\varphi = (c_{i_1}\varphi)^{\alpha_{i_1}} \ldots (c_{i_q}\varphi)^{\alpha_{i_q}} (u\varphi);$$

но $u\varphi = F_1^{(n)}\varphi$, и так как F_1 при φ отображается тождественно на себя, то, по лемме 1, $\alpha_{i_k} = 0$. Из этого для группы F следует, что, если $g \in [F_1, F_2]^F$, то, так как $F = H/H^{(n)} \cap [F_1, F_2]^H$, элемент g может быть записан в виде

$$g = c_{j_1}^{\alpha_{j_1}} \ldots c_{j_p}^{\alpha_{j_p}} u, \tag{5}$$

где c_{j_r} удовлетворяют условиям теоремы, а $u \in F^{(n)}$. Но каждый из элементов c_{j_r} принадлежит $[F_1, F_2]^F$, и, следовательно, $u \in F^{(n)} \cap [F_1, F_2]^F = E$ (см. ([5])), т. е. $u = 1$. Теорема доказана.

Положим $c_{j_r} = g_r$, сохранив упорядоченность $g_i < g_j$ при $i < j$. В новых обозначениях запись элемента g имеет вид

$$g = g_1^{\alpha_1} \ldots g_p^{\alpha_p}, \tag{5'}$$

причем она единственна ввиду единственности записи по mod $F^{(n)}$.

Так же как было доказано, что $u = 1$ в формуле (5), можно показать, что сравнения (2) для системы $\{g_r\}$ в $[F_1, F_2]^F$ обращаются в равенства

$$g_j^{\varepsilon} g_i^{\delta} = g_i^{\delta} g_j^{\varepsilon} g_{j+1}^{\mu_{j+1}} \ldots g_p^{\mu_p}. \tag{6}$$

С помощью этих соотношений произвольную запись каждого элемента g из $[F_1, F_2]^F$ можно привести к виду (5'). Поскольку же эта последняя запись единственна, оказывается справедливой следующая

Теорема 2. *Соотношения* (6) *являются полной системой определяющих соотношений для группы* $[F_1, F_2]^F$ *относительно системы образующих* $g_1, \ldots, g_p$.

Теоремы 1 и 2 решают задачу для случая двух сомножителей, являющихся свободными группами.

Перейдем к рассмотрению общего случая. Упорядочим в группе $F = F_1 (n) F_2$ элементы a_k, b_m, v_i и w_j так, чтобы $a_k < b_m < v_i < w_j$. Построим на них систему базисных коммутаторов $\{y_z\}$ до веса n включительно. Выделим среди них коммутаторы x_s, $\omega(x_s) \geqslant 2$, удовлетворяющие следующим двум условиям: 1) в запись каждого x_s входит хотя бы один элемент из числа v_i или w_j; 2) среди x_s нет таких, запись которых состоит только из элементов a_k и v_i или только из элементов b_m и w_j.

Пусть $N = \overline{\{v_i, w_j\}}^F$. Очевидно, каждый $x_s \in N \cap [F_1, F_2]^F$.

Теорема 3. *Система элементов* $\{x_s\}$ *является системой образующих для подгруппы* $K = N \cap [F_1, F_2]^F$.

Если утверждение теоремы справедливо, система равенств (6) и равенства $x_s = 1$, $s = 1, \ldots, l$, где x_s переписаны в каноническом виде через коммутаторы g_r, будут представлять собою полную систему определяющих соотношений для $[G_1, G_2]^G$ в системе образующих $\{g_r\}$.

Для доказательства нам нужна будет

Лемма 3. *Если в группе* $F = F_1 (n) F_2$ *взят элемент* g, *принадлежащий нормальному делителю* N, *то* g *допускает запись вида*

$$g = y_{r_1}^{\alpha_{r_1}} \ldots y_{r_p}^{\alpha_{r_p}} z, \tag{7}$$

где $z = F^{(n)}$, *в которой все* y_{r_i} *удовлетворяют условию* 1).

Доказательство. Будем записывать элементы из N в виде произведений элементов a_k, b_m, v_i и w_j, не производя сокращений между образующими a_k, b_m и словами v_i и w_j, например, заключая v_i и w_j в скобки. Рассмотрим элементы $g \in N$ вида

$$g = h^{-1} v_i h, \quad h \in F. \tag{8}$$

По правилам, аналогичным (2), g может быть переписан в виде (7). Если длина слова h в (8) равна 1, то y_{r_i} удовлетворяют условию 1). Предположив, что утверждение справедливо, когда длина элемента h в образующих a_k и b_m равна $s - 1$, для элемента $h_1 = h a_k$, например, получим

$$g = a_k^{-1} h^{-1} v_i h a_k = a_k^{-1} y_{r_1}^{\alpha_{r_1}} \ldots y_{r_p}^{\alpha_{r_p}} z a_k = a_k^{-1} y_{r_1}^{\alpha_{r_1}} \ldots y_{r_p}^{\alpha_{r_p}} a_k z\,(z, a_k).$$

Возникающие при перестановках справа налево коммутаторы могут быть переписаны, по лемме 2, через базовые, удовлетворяющие условию 1). Ясно, что произведение элементов вида (7) тоже может быть записано в такой форме.

Перейдем теперь к доказательству теоремы 3. Пусть $g \in K$ и выделим в его записи (7) множители y_{q_i} такие, что компонентами их служат лишь a_k и v_i, и элементы y_{p_i}, компонентами которых служат только b_m и w_j. Переставляя сначала y_{q_i} последовательно с элементами, стоящими справа от них, мы

добьемся того, что запись g примет вид

$$g = t_1 y_{q_1}^{\alpha_{q_1}} \dots y_{q_m}^{\alpha_{q_m}} z.$$

Поступая аналогично с y_{p_j}, получим

$$g = t y_{p_1}^{\alpha_{p_1}} \dots y_{p_n}^{\alpha_{p_n}} y_{q_1}^{\alpha_{q_1}} \dots y_{q_m}^{\alpha_{q_m}} z,$$

где t — произведение коммутаторов, удовлетворяющих условиям 1) и 2). Докажем, что $y_{p_1}^{\alpha_{p_1}} \dots y_{p_n}^{\alpha_{p_n}} \in F^{(n)}$ и $y_{q_1}^{\alpha_{q_1}} \dots y_{q_m}^{\alpha_{q_m}} \in F^{(n)}$. Пусть $F\varphi = F_1$, и так как $g \in K$, то

$$g\varphi = (y_{q_1}^{\alpha_{q_1}} \dots y_{q_m}^{\alpha_{q_m}})\, \varphi z \varphi = 1. \tag{9}$$

Но $z\varphi \in (F, \varphi)^{(n)}$, и поэтому $(y_{q_1}^{\alpha_{q_1}} \dots y_{q_m}^{\alpha_{q_m}})\, \varphi \in (F_1\varphi)^{(n)}$, а следовательно, и $y_{q_1}^{\alpha_{q_1}} \dots y_{q_m}^{\alpha_{q_m}} \in F_1^{(n)} \subset F^{(n)}$. Аналогично убеждаемся в том, что $y_{p_1}^{\alpha_{p_1}} \dots y_{p_n}^{\alpha_{p_n}} \in F_n$. Таким образом, $g = tq$, где $t \in [F_1, F_2]^F$, а $q \in F^{(n)}$. Отсюда $q \in F^{(n)} \cap [F_1, F_2)^F = E$, и, следовательно, $q = 1$. По лемме 2 каждый коммутатор в записи t может быть переписан через базовые коммутаторы x_s, удовлетворяющие условиям 1) и 2). Теорема доказана.

Итак, алгоритм тождества слов в нильпотентном произведении двух групп состоит в следующем. Находим правильную запись (1) испытываемого слова. Устанавливаем, равны ли 1 правильные компоненты g_1 и g_2 в (1). Если они равны 1, то переходим к исследованию компоненты u. С помощью формул (6) приводим u к каноническому виду (5′). Если сомножители — свободные группы, то $u = 1$ в том и только в том случае, если все показатели степеней в канонической записи равны 0. Если же сомножители определены системами образующих и определяющих соотношений, то для решения вопроса о равенстве 1 компоненты u нужно составить элементы x^s в их записи через $g_1, \dots, g_p$ и применить алгоритм, описанный в работе [2], для нильпотентной группы, заданной системой образующих $g_1, \dots, g_p$ и системами соотношений (6) и $x_s = 1$ ($s = 1, \dots, l$) в качестве системы определяющих соотношений.

Так как нильпотентные произведения групп ассоциативны [1], то алгоритм тождества может быть построен для любого конечного числа сомножителей.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
27 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] О. Н. Головин, Матем. сборн., 27 (69), 427 (1950). [2] А. И. Мальцев, Матем. сборн., 37, 567 (1955). [3] M. Hall, The Theory of Groups, 1959, p. 165. [4] Н. П. Гольдина, УМН, 13, № 3, 183 (1958). [5] S. Moran, Proc. London Math. Soc., 6, № 24, 581 (1956). [6] R. R. Struik, Trans. Am. Math. Soc., 81, 425 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

КИБЕРНЕТИКА И ТЕОРИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Член-корреспондент АН СССР И. М. ГЕЛЬФАНД и М. Л. ЦЕТЛИН

ПРИНЦИП НЕЛОКАЛЬНОГО ПОИСКА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Во многих практических задачах возникает необходимость управления сложными системами с большим числом степеней свободы. К задачам этого рода приводит также рассмотрение процессов управления многими физиологическими механизмами (построение движений, анализ афферентаций и т. д.). Попытки решения этих задач средствами классической математики часто оказываются безуспешными. Даже когда без труда может быть построен алгоритм, позволяющий во всех случаях решить задачу, реализация этого алгоритма не представляется возможной ввиду ограниченности быстродействия вычислительной техники и времени, в течение которого задача должна быть решена.

В этих ситуациях разрешение может быть достигнуто путем использования о р г а н и з а ц и и, которой в той или иной мере обладают задачи, встречающиеся в практической деятельности человека или, может быть, в физиологии. Иными словами — решение достигается за счет отказа от рассмотрения наиболее трудоемких (хаотических) ситуаций. Заметим, что в ряде задач эти невыгодные (хаотические) случаи являются в формально-математическом смысле наиболее вероятными.

Эта заметка представляет собой попытку такого решения одной из задач теории автоматического регулирования — задачи автоматической оптимизации при большом числе рабочих параметров.

Как известно (см., например, [1, 2]), самонастраивающимися системами называются системы с обратной связью, в которых требуемое значение выходной величины получается в результате автоматического поиска. В ряде важных случаев целью поиска является достижение экстремального значения выходной величины. Системы этого рода называются системами автоматической оптимизации. Ниже будет описан принцип автоматической оптимизации, базирующийся на одном специальном методе нелокального поиска, предложенном И. М. Гельфандом и оказавшемся весьма эффективным при решении ряда вычислительных задач на отыскание минимума.

Итак, пусть $F(x_1, \ldots, x_n, y_1, \ldots, y_m)$ — выходная функция устройства автоматической оптимизации. Группу аргументов $x_1, \ldots, x_n$ назовем р а б о ч е й. Значения этих аргументов меняются в результате автоматического поиска. Аргументы $y_1, \ldots, y_m$ — скрытые параметры системы, вообще говоря, зависящие от времени, так что выходную функцию можно записать в виде $F(x_1,\ldots,x_n, y_1,\ldots,y_m) = \Phi(x_1,\ldots,x_n,t)$.

Отметим, что функция $\Phi(x_1,\ldots,x_n,t)$ в самонастраивающихся системах чаще всего не задается аналитически или каким-либо иным способом, так что подбор нужных (оптимизирующих) значений рабочих параметров может производиться только экспериментальным путем. Зависимость Ф от времени приводит к необходимости непрерывного поиска нужных значений аргументов. Эта зависимость не предполагается известной. В связи с этим важной характеристикой поиска является его скорость; необходимо, грубо говоря, чтобы «удовлетворительные» значения оптимизируемой функции достигались за интервалы времени, на протяжении которых эта функция «не успевает существенно измениться».

Оценкой работы системы автоматической оптимизации может служить не близость мгновенного значения функции к экстремальному, а функцио-

налы вида

$$T^{-1}\int_0^T \Psi(\Phi(x_1, \ldots, x_n, t))\, dt. \qquad (1)$$

Функция Ψ может выбираться по-разному. Так, например, при $\Psi(\Phi) = \Phi$ значение этого функционала соответствует так называемой «плате за поиск» или «цене поиска», определяемой для простейших систем автоматической минимизации с одним рабочим параметром и одним минимумом функции Φ([1]).

В задачах, где достаточно достижение значений Φ, не превышающих некоторого уровня C («минимизация по уровню»), удобным является критерий, получающийся из (1), если положить

$$\Psi(\Phi) = 0 \quad \text{при } \Phi \leqslant C; \qquad \Psi(\Phi) = 1 \quad \text{при } \Phi > C. \qquad (2)$$

Автоматический поиск может осуществляться разными способами, которые удобно разбить на три группы.

К первой группе относятся так называемые методы слепого поиска, в которых эксперименты по подбору нужных значений параметров производятся независимо друг от друга. При этом либо просматриваются в определенном порядке все точки пространства рабочих параметров (сканирование), либо эти точки выбираются случайным образом (принцип гомеостата) ([3,4]) и не меняются, пока значения Φ остаются удовлетворительными. При непрерывном поиске этими методами значения Φ от эксперимента к эксперименту систематически не улучшаются, так что «цена поиска» оказывается высокой.

Вторая группа способов автоматического поиска (методы локального поиска) предусматривает анализ результатов каждого эксперимента и получение таким образом исходных данных для следующего эксперимента. К этой группе относятся методы градиентный, наискорейшего спуска, релаксационный и некоторые другие. Их общей чертой является локальность: рабочая точка движется по пространству рабочих аргументов непрерывно, подготовка следующего эксперимента производится на основании знания значений функции Φ в малой окрестности значений параметров предыдущего эксперимента. При использовании локальных методов значения Φ в процессе поиска улучшаются, что обеспечивает их существенное преимущество в сравнении с методами слепого поиска.

Вместе с тем, допуская только местный (локальный) поиск, эти методы лишь в малой степени используют особенности оптимизируемой функции. При малых значениях градиента все локальные методы становятся малоэффективными, вынуждают прибегать к многократным изменениям величины рабочего шага в направлении движения, что ведет к существенному замедлению скорости поиска *.

Системы автоматической оптимизации с локальными методами поиска подробно описаны в работах А. А. Фельдбаума ([2,5,6]), в которых указаны также возможные методы схемной реализации автоматов этого рода.

Третью группу методов естественно назвать методами нелокального поиска. Их характерной чертой является то, что кривая перемещения рабочей точки по пространству параметров не является непрерывной. При этом резко увеличивается объем просматриваемой в единицу времени области, возникает возможность использовать особенности строения функции Φ; процесс оптимизации значительно ускоряется.

Наиболее простым нелокальным методом является сочетание локальных методов и принципа гомеостата. Этот метод часто применяется в вычислительной практике и сводится к следующему. Выбирается случайная точка, и от нее производится спуск в соответствии с выбранным локальным методом до тех пор, пока изменение функции не станет малым. Затем снова выбирается случайная точка, производится спуск и т. д. Так возникает, например, метод нелокального градиентного поиска.

* Кроме того, всегда есть существенная опасность, что такой поиск «зациклится» на какой-нибудь второстепенной «мелкой впадине».

Этот метод нелокального поиска страдает тем недостатком, что после каждого спуска значение Ф снова (и, вообще говоря, значительно) возрастает; информация о функции, приобретаемая за время локального спуска, далее никак не используется. За счет систематического выхода в области больших значений Ф и возникающей из-за этого необходимости длительного пользования локальными методами «цена поиска» оказывается относительно высокой.

Опишем теперь метод нелокального поиска, который мы назовем м е т о д о м о в р а г о в. Метод относится к случаю, когда рабочие параметры $x_1, \ldots, x_n$ могут быть разбиты на две группы. Первая группа — она включает в себя почти все параметры — состоит из тех параметров, изменение которых приводит к значительному изменению значения функции Ф. Поэтому настройка по этим параметрам (мы назовем их н е с у щ е с т в е н н ы м и) производится сравнительно просто и быстро. Вторая группа переменных включает в себя небольшое (например, 2 или 3) число функций от $x_1, \ldots, x_n$, изменение которых приводит к относительно небольшому изменению значений функции Ф. Эти переменные мы будем называть с у щ е с т в е н н ы м и. Разумеется, разбиение параметров на группы зависит от времени и поэтому также должно производиться автоматически. Конечно, такое разбиение невозможно для всякой функции, которую мог бы задать математик, однако для функций, встречающихся в практической деятельности (разумные задачи физики, техники и т. д.), такое разбиение, по-видимому, всегда возможно. Понимая трудность точного определения этих понятий, мы тем не менее рискнем здесь назвать такие функции х о р о ш о о р г а н и з о в а н н ы м и.

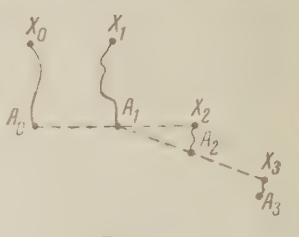


Рис. 1

Автоматический поиск производится следующим образом. Сначала выбирается произвольная точка X_0. Из этой точки производится спуск по градиенту (можно, конечно, пользоваться и каким-либо другим локальным методом). Этот спуск следует производить грубо; если, например, очередной шаг снижает значения Ф меньше, чем, скажем, на 5 ÷ 15%, то его следует прекратить. Дело в том, что как только спуск по градиенту перестает существенно сказываться на значениях Ф, мы попадаем в зону, где переменные первой и второй групп становятся равноправными, и, не продвигаясь сколько-нибудь заметно по существенным переменным, продолжаем беспорядочно блуждать, изменяя переменные несущественные. Собственно говоря, в этом и состоит причина малой эффективности локальных методов.

Пусть градиентный спуск привел нас в точку A_0 (рис. 1). После этого выбирается какая-либо точка X_1 в окрестности точки X_0 на расстоянии, с у щ е с т в е н н о превышающем шаг градиентного спуска. Из точки X_1 производится градиентный спуск в точку A_1. После того как точки A_0 и A_1 получены, производится так называемый «шаг по оврагу». Точки A_0 и A_1 соединяются прямой, и на этой прямой выбирается точка X_2 на расстоянии от A_1, называемом длиной о в р а ж н о г о ш а г а. Эта длина для организованных функций выбирается значительно большей, чем длина градиентного шага. Подбор овражного шага производится экспериментально (пробами) и является важной характеристикой функции Ф. После того как точка X_2 выбрана, снова производится градиентный спуск в точку A_2. Точка X_3 выбирается по точкам A_1 и A_2 так же, как точка X_2 выбиралась по A_0 и A_1, после чего процесс повторяется. Точки X_i выбираются таким образом в местах, где ожидаются* небольшие значения Ф, либо вблизи них, так что весь поиск производится в основном в области малых значений функции. При

* Из-за влияния несущественных переменных значение Ф в самих точках X_i может не быть малым.

разумном выборе овражного шага по мере продвижения по оврагу происходит адаптация к его ходу, так что длины градиентных спусков становятся намного меньше величины овражного шага*. В результате цена поиска снижается весьма существенно по сравнению с локальными методами и простейшим нелокальным методом, описанным выше. Так, при 8—10 переменных в задачах фазового анализа плата за поиск падает в сотни раз.

Заметим еще, что для выбора овражного шага оказывается полезным использование функционала (1) при Ψ, выбираемой в соответствии с (2). Длина овражного шага должна обеспечивать некоторое фиксированное значение этого функционала. При слишком мелком шаге значение функционала становится малым, что указывает на замедление поиска. При слишком большом шаге значение функционала увеличивается, указывая на грубость поиска.

Для функций большого числа переменных определение градиента, связанное с необходимостью фиксации $(n+1)$-го значения Ф, становится черезчур громоздким. Здесь может оказаться полезным следующий прием. Переменным $x_1, \ldots, x_n$ приписываются некоторые начальные вероятности $p_1, \ldots, p_n$. Затем в соответствии с этими вероятностями производится выбор некоторого небольшого числа направлений и вычисляется частный градиент. В зависимости от результатов движения по частному градиенту исходное распределение вероятностей корректируется, так что происходит адаптация направления движения к направлению полного градиента**. Выше уже упоминалось, что вместо градиента можно пользоваться любой пробой близких ситуаций.

Важно отметить, что для функций, быстро меняющихся во времени, при движении по оврагу корреляция между значениями функции в удаленных на расстояние овражного шага точках становится небольшой, и в этом смысле «метод оврагов» начинает приближаться к нелокальному градиентному методу. Дальнейшее увеличение зависимости Ф от времени приводит к уменьшению и локальной корреляции, и в этих случаях тактика приближается к слепому поиску. По существу «метод оврагов» включает в себя и нелокальный градиентный метод, и слепой поиск, давая существенный выигрыш в тех случаях, когда скорость поиска превышает скорость изменения Ф, и не уступая этим методам в остальных случаях. Сходная ситуация имеет место и при уменьшении степени организации функции.

Заметим в заключение, что нам представляется правдоподобной связь между простейшими следящими системами, методами слепого поиска, локальными и нелокальными методами автоматической оптимизации, с одной стороны, и уровнями построения движения человека и высших животных, впервые рассмотренными Н. А. Бернштейном ([7]), с другой.

Мы выражаем благодарность М. А. Евграфову, Л. Н. Ивановой и И. И. Пятецкому-Шапиро за многочисленные полезные обсуждения.

Поступило
14 XII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Цянь Сюэ-сэнь, Техническая кибернетика, ИЛ, 1956. [2] А. А. Фельдбаум, Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959. [3] W. R. Ashby, An Introduction to Cybernetics, London, 1956; У. Р. Эшби, Введение в кибернетику, ИЛ, 1959. [4] Г. В. Савинов, Проблемы кибернетики, в. 4, М., 1960. [5] А. А. Фельдбаум, Автоматика и телемех. 17, № 11 (1956). [6] А. А. Фельдбаум, Автоматика и телемех., 19, № 8 (1958). [7] Н. А. Бернштейн, О построении движений, М., 1948.

---

* Выбор овражного шага определяет качественные характеристики тактики поиска. При заданном овражном шаге мы «переваливаем через мелкие хребты» и «огибаем высокие горы». Эти масштабы и определяются величиной овражного шага.

** Эти соображения примыкают к кругу рассмотренных М. Л. Цетлиным вопросов, связанных с поведением автоматов, которые предполагается изложить отдельно.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГИДРОМЕХАНИКА

В. Л. ДАНИЛОВ

О ДВИЖЕНИИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В УЗКОЙ ЩЕЛИ

(Представлено академиком П. Я. Кочиной 17 X 1960)

Задача о движении границы раздела двух вязких несмешивающихся жидкостей в узкой щели между параллельными пластинами представляет интерес в связи с известной аналогией этого течения с ламинарной фильтрацией в однородном пласте постоянной мощности. В работе П. Я. Полубариновой-Кочиной и А. Р. Шкирич [1] впервые сопоставлено теоретическое решение задачи о стягивании контура нефтеносности с экспериментом на горизонтальном щелевом лотке. В связи с фильтрацией в пористых средах движение границы раздела в щели рассматривалось в более поздних экспериментальных и теоретических исследованиях зарубежных авторов [2-8]. Однако в этих работах либо совершенно не изучено, либо учтено в недостаточной степени влияние межфазного натяжения, которое, как показано ниже, может существенно сказываться на движении границы раздела в щели.

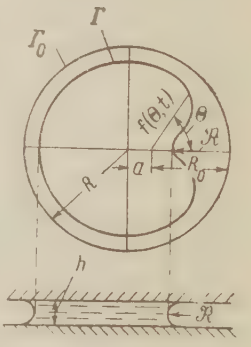


Рис. 1

Рассмотрим плоское движение системы двух жидкостей, имеющих в начальный момент известную поверхность раздела Σ_0, которую будем характеризовать ее средним сечением, параллельным стенкам щели,— контуром Γ_0, заданным уравнением (рис. 1)

$$F_0(x, y) = 0. \tag{1}$$

Динамическую вязкость жидкости во внутренней области G_1 обозначим через μ_1, а жидкости во внешней неограниченной области G_2 через μ_2. Межфазное натяжение на их контакте Γ равно σ.

Пусть в момент $t = 0$ в области G_1 начинают действовать k, а в области G_2 l источников (стоков) с обильностью $Q_i(t)$ в точках (x_i, y_i) $(i = 1, 2, \ldots, k + l)$. Скорость жидкости в каждой из областей равна [9,10]

$$\mathbf{v}_j = -c_j \nabla p, \quad c_j = \frac{h^2}{12\mu_j}, \quad j = 1, 2 \tag{2}$$

(h — высота щели) и давление p в несжимаемых жидкостях ($\operatorname{div} \mathbf{v}_j = 0$) удовлетворяет в $G_1 + G_2$ всюду вне особых точек-источников, бесконечно удаленной точки и границы раздела Γ двумерному уравнению Лапласа:

$$\nabla^2 p = 0. \tag{3}$$

Во все время движения на среднем сечении Γ боковой поверхности Σ, уравнение которого в неявной форме имеет вид

$$F(x, y, t) = 0, \tag{4}$$

удовлетворяются условие сплошности течения $v_n^+ = v_n^-$, или, в силу (2):

$$-v_n - c_1 \frac{\partial p^+}{\partial n^-} = c_2 \frac{\partial p^-}{\partial n^-}, \tag{5}$$

и условие скачка давления

$$p^+ - p^- = \sigma\left(\frac{1}{\mathfrak{R}_1} + \frac{1}{\mathfrak{R}_2}\right). \tag{6}$$

Здесь n — внутренняя нормаль к контуру Γ; индексы плюс и минус означают предельные значения при подходе к Γ соответственно изнутри и снаружи; $\mathfrak{R}_1$ и $\mathfrak{R}_2$ — радиусы кривизны поверхности Σ по сечению Γ соответственно в плоскости, параллельной стенкам и перпендикулярной им, проходящей через нормаль n. Радиус $\mathfrak{R}_2$ можно считать постоянным по периметру Γ. При полном смачивании одной из жидкостей $\mathfrak{R}_2 = \pm h/2$.

Вводя известную гармоническую функцию

$$\varphi(x, y, t) = \frac{1}{2\pi h c_1} \sum_{i=1}^{k} Q_i(t) \ln \frac{1}{R_i} + \frac{1}{2\pi h c_2} \sum_{i=k+1}^{k+l} Q_i(t) \ln \frac{1}{R_i}, \tag{7}$$

$$R_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2},$$

давление p будем отыскивать в форме

$$p(x, y, t) = \varphi + \int_{(\Gamma)} \rho(x, t) \ln \frac{1}{R} ds + \int_{\Gamma} \varkappa(s, t) \frac{\partial}{\partial n_1} \ln \frac{1}{R} ds, \tag{8}$$

$$R = \sqrt{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2}, \quad s(\xi, \eta) \in \Gamma,$$

где ρ и $\varkappa$ — соответственно плотности логарифмических потенциалов простого и двойного слоев, непрерывно распределенных по Γ.

Используя уравнение (4), условия (5) можно представить в форме

$$\left(\frac{\partial F}{\partial t} \Big/ \frac{\partial F}{\partial n}\right) = c_1 \frac{\partial p^+}{\partial n} = c_2 \frac{\partial p^-}{\partial n}, \tag{9}$$

и, вследствие известных свойств потенциалов, имеем

$$\rho(s, t) = -\frac{1}{2\pi}\left(\frac{1}{c_1} - \frac{1}{c_2}\right) \frac{\partial F}{\partial t} \Big/ \frac{\partial F}{\partial n}, \quad \varkappa(s, t) = \frac{\sigma}{2\pi}\left(\frac{1}{\mathfrak{R}_1} + \text{const}\right). \tag{10}$$

Функция (8) с учетом (10) удовлетворяет уравнению (3), условию (6) и имеет заданные особенности. Удовлетворяя условиям (9), после преобразований получаем функциональное уравнение движения контура Γ

$$\left(\frac{\partial F}{\partial t} \Big/ \frac{\partial F}{\partial n}\right) - \frac{\lambda}{\pi} \int_{(\Gamma)} \left(\frac{\partial F}{\partial t} \Big/ \frac{\partial F}{\partial n}\right) \frac{\partial}{\partial n} \ln \frac{1}{R} ds -$$

$$- \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \frac{\sigma}{\pi} \int_{(\Gamma)} \frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{1}{\mathfrak{R}_1}\right) \frac{\partial}{\partial \tau} \ln \frac{1}{R} ds = \frac{2 c_1 c_2}{c_1 + c_2} \frac{\partial \varphi}{\partial n}, \tag{11}$$

$$s(\xi, \eta),\ \tau(x, y) \in \Gamma, \quad \lambda = \frac{c_1 - c_2}{c_1 + c_2}$$

(τ — дуговая абсцисса точки контура (x, y)).

Таким образом, определение закона движения границы Γ сводится к задаче Коши для уравнения (11) при начальном условии (см. [1])

$$F(x, y, 0) = F_0(x, y) = 0. \tag{12}$$

Предполагается, что контур Γ обладает дифференцируемой кривизной [11].

В случае звездной границы раздела введением полярных координат (r, θ) и уравнения контура Γ в форме

$$F(r, \theta, t) = r - f(\theta, t) = 0 \qquad (13)$$

уравнение движения (12) преобразуется к виду

$$f(\theta, t) f_t(\theta, t) - \frac{\lambda}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\nu, t) f_t(\nu, t) K(\theta, \nu, t)\, d\nu +$$

$$+ \frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \frac{\sigma}{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\partial}{\partial \nu} \left(\frac{1}{R_1}\right) L(\theta, \nu, t)\, d\nu =$$

$$= \frac{1-\lambda}{2\pi h} \sum_{i=1}^{k} Q_i(t) K_i(\theta, t) + \frac{1+\lambda}{2\pi h} \sum_{k+1}^{k+l} Q_i(t) K_i(\theta, t). \qquad (14)$$

где $f_t = \partial f / \partial t$; K и L — функции θ, ν, $f(\theta, t)$, $f(\nu, t)$ и $f_\theta(\theta, t)$; K_i — функции θ, $f(\theta, t)$ и $f_0(\theta, t)$ ($f_\theta = \partial f / \partial \theta$). Искомая функция $f(\theta, t)$ удовлетворяет начальному условию:

$$f(\theta, 0) = f_0(\theta). \qquad (15)$$

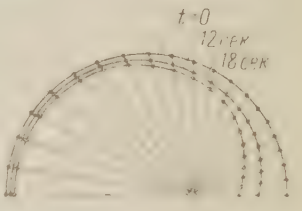


Рис. 2

Задача Коши (14)—(15) может быть решена методом конечных разностей — шаговым процессом по времени t, подобным описанному в ([11],[12]). При этом следует иметь в виду сингулярность второго интеграла (функция $L(\theta, \nu, t)$ имеет полюс 1-го порядка, когда $\nu = \theta$).

По предложенному алгоритму задача была запрограммирована и решена А.С. Жариковым на электронной вычислительной машине Стрела Вычислительного центра АН СССР в частном случае одного стока с постоянным расходом Q, расположенного эксцентрично относительно кругового начального контура Γ_0 (рис. 1). Расчет произведен при исходных данных, взятых из эксперимента: $R = 7{,}04$ см, $a = 2{,}29$ см, $h = 0{,}24$ см, $Q = -0{,}512$ см^3/сек, $\mu_1 = 2{,}7$ пуаз, $\mu_2 = 0$, $\sigma = 31$ дин/см. На рис. 2 приведены начальное и два промежуточных положения границы, взятые с фотоснимков (сплошные линии) и из расчета (точки). На рис. 3 изображены графики перемещения контура Γ по главному направлению ($\theta = 0$). Совпадение экспериментальных данных с результатами численного решения можно считать вполне удовлетворительным. Графики движения границы без различия вязкостей и межфазного натяжения ($\lambda = 0$, $\sigma = 0$) и при одном лишь различии вязкостей ($\lambda \neq 0$, $\sigma = 0$) показывают сильное расхождение с экспериментом.

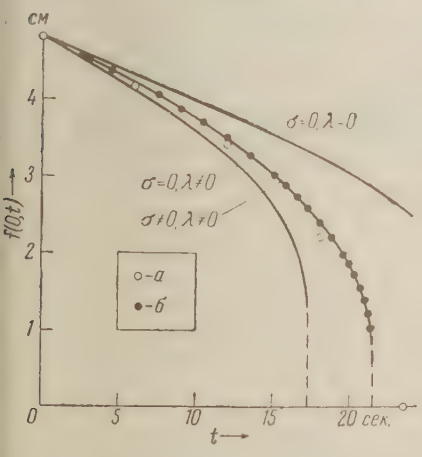


Рис. 3. *а* — экспериментальные точки; *б* — расчетные точки

Для оценки влияния межфазного натяжения вводится безразмерный критерий *

$$B = \frac{\sigma h^3}{12(\mu_1 + \mu_2)|Q| R_0},$$

* Сафмэн и Тейлор ([4]) в частном случае $\mu_2 = 0$ пользовались величиной $\mu_1 V / \sigma$ (V — скорость), по существу обратной B.

где R_0 — кратчайшее расстояние от стока до начальной границы раздела (рис. 1). Он вытекает из уравнения движения (14).

За характеристику степени влияния межфазного натяжения на движение границы удобно принять $T_д / T_э$ — отношение времени $T_д$ подхода границы к стоку, рассчитанному при $\sigma = 0$ и сохранении всех остальных параметров из опыта ([12]), к величине этого времени $T_э$ в эксперименте.

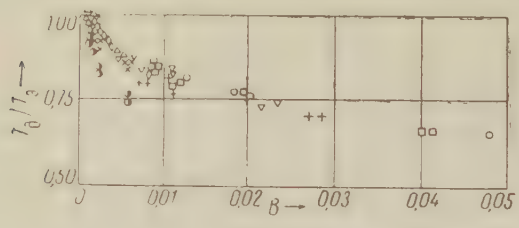


Рис. 4

Ю. А. Тепловым в Физико-техническом институте Казанского филиала АН СССР проведены многочисленные эксперименты по стягиванию границы Г при различных значениях B (изменялись значения μ_1, μ_2, R_0, h, Q и σ). Результаты их обработки приведены на рис. 4, из которого следует, что уже при $B < 0{,}0025$ расхождение между $T_э$ и $T_д$ не превышает 10%. Поэтому, выбирая B достаточно малым, можно устранить нежелательное влияние межфазного натяжения при моделировании движения границы на щелевом лотке, что подтверждает вывод, сделанный в работе ([1]).

Поступило
11 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] П. Я. Полубаринова-Кочина, А. Р. Шкирич, Изв. АН СССР, ОТН, № 11 (1954). [2] C. G. Matthews, M. J. Fischer, Trans. AIME, **207**, Techn. Publ. 4250 (1956). [3] Th. Goldefracht, Lucrări. Inst. petr., gaze şi geol., **4**, Bucuresti 1958. [4] P. G. Saffman, G. Taylor, Proc. Roy. Soc., A, **245**, 312 (1958). [5] P. G. Saffman, Quart. J. Mech. and Appl. Math., **12**, № 2 (1959). [6] G. Taylor, P. G. Saffman, Quart., J. Mech. and Appl. Math., **12**, № 3 (1959). [7] M. J. Fischer Rosenbaum, C. G. Matthews, J. Petr. Techn., Techn. Publ. 8093, № 11 (1959). [8] R. L. Chuoke, P. van Meurs, C. van der Poel, J. Petr. Techn., № 7 (1959). [9] В. И. Аравин, С. Н. Нумеров, Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде, 1953. [10] П. Я. Полубаринова-Кочина, Теория движения грунтовых вод, 1952. [11] W. J. Sternberg, T. L. Smith, The Theory of Potential and Spherical Harmonics, Toronto, 1946. [12] В. Л. Данилов, Изв. Казанск. фил. АН СССР, сер. физ.-матем. и техн. наук, № 11 (1957). [13] В. Л. Данилов, В. В. Скворцов, Изв. АН СССР, сер. мех. и машиностр., № 4 (1960).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГИДРОМЕХАНИКА

Ю. П. ЛАДИКОВ

НЕКОТОРЫЕ ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ НЕУСТАНОВИВШИХСЯ ДВИЖЕНИЙ В МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКЕ

(Представлено академиком Л. И. Седовым 1 IX 1960)

В настоящей заметке несколько расширяется класс движений, изученных в работах ([1-5]), в которых радиальная скорость является линейной функцией радиуса.

I. Пульсация гравитирующей сферы в магнитном поле. Неустановившиеся течения газа с сферической симметрией при условии, что частицы газа имеют радиальное движение со скоростью, пропорциональной их радиусу, были исследованы Л. И. Седовым ([1]) и при учете сил гравитации М. Л. Лидовым ([2]). Здесь эти решения будут распространены на те случаи, когда газ, обладая бесконечной проводимостью, подвержен действию аксиально симметричного магнитного поля, а также когда частицы газа вращаются относительно оси симметрии. Уравнения магнитной гидродинамики в сферических координатах при условии аксиальной симметрии и $v_\theta = 0$ имеют следующий вид:

$$
\begin{gathered}
\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_\varphi^2}{r} = \frac{1}{4\pi\rho} \frac{H_\theta}{r} \left(\frac{\partial r H_\theta}{\partial r} - \frac{\partial H_r}{\partial \theta} \right) - \frac{H_\varphi}{4\pi\rho r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_\varphi) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} - f \frac{M}{r^2}, \\
\frac{\partial v_\varphi}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} + \frac{v_r v_\varphi}{r} = \frac{H_r}{r \sin\theta} \frac{\partial}{\partial r} (r \sin\theta H_\varphi) + \frac{H_\theta}{r^2 \sin\theta} \frac{\partial (r \sin\theta H_\varphi)}{\partial \theta}, \\
- \frac{v_\varphi^2}{r} \operatorname{ctg}\theta = - \frac{H_\varphi}{4\pi\rho r^2 \sin\theta} \frac{\partial (r \sin\theta H_\varphi)}{\partial \theta} - \frac{H_r}{4\pi\rho r} \left(\frac{\partial H_\theta r}{\partial r} - \frac{\partial H_r}{\partial \theta} \right) - \frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \theta}, \\
\frac{\partial}{\partial r} (H_r r^2 \sin\theta) + \frac{\partial}{\partial \theta} (H_\theta r \sin\theta) = 0, \\
\frac{\partial \rho}{\partial t} + v_r \frac{\partial \rho}{\partial r} + \rho \left(\frac{2 v_r}{r} + \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) = 0, \\
\frac{\partial p}{\partial t} + v_r \frac{\partial p}{\partial r} + \gamma p \left(\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{2 v_r}{r} \right) = 0, \\
\frac{\partial H_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial H_r}{\partial r} + H_r \frac{2 v_r}{r} = 0, \\
\frac{\partial H_\theta}{\partial t} + v_r \frac{\partial H_\theta}{\partial r} + H_\theta \left(\frac{v_r}{r} + \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) = 0, \\
\frac{\partial H_\varphi}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r (H_r v_\varphi - v_r H_\varphi) \right] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} (v_\varphi H_\theta).
\end{gathered} \tag{1}
$$

Здесь $\gamma = c_p/c_v$ отношение теплоемкостей, все остальные величины имеют общепринятые обозначения; $M = 4\pi \int_0^r r^2 \rho \, dr = 4\pi \int_0^\xi \eta^2 \rho_0 (\eta) \, d\eta$, ξ — начальный радиус частицы. Будем искать решение, в котором $v_\varphi = 0$, $v_r = -r\mu' (t)/\mu (t)$, где $\mu (t)$ — произвольная функция времени. При таком движении все частицы испытывают однородную деформацию $r = \xi/\mu (t)$.

Легко видеть, что при таком выборе радиальной скорости последние 5 уравнений (1) становятся линейными. Их общие решения имеют вид

$$\rho = \mu^3 \xi \varphi(\xi), \quad p = \mu^{3\gamma} \Pi_1(\xi, \theta), \quad H_r = \mu^2 h_r(\xi, \theta), \\ H_\theta = \mu^2 h_\theta(\xi, \theta), \quad H_\varphi = \mu^2 h_\varphi(\xi, \theta). \tag{2}$$

Первые три уравнения (1) в таком случае могут быть разрешимы, если давление представляется суммой двух слагаемых

$$p = \mu^{3\gamma}[\Pi_1(\xi, \theta) + \Pi_2(\xi)].$$

Первое из них является функцией двух переменных ξ, θ, а второе — функцией только начального радиуса ξ. Если градиент первой части давления уравновесится с силой Лоренца

$$\operatorname{grad} \mu^{3\gamma} \Pi_1(\xi, \theta) = \frac{1}{4\pi} [\mathbf{H} \times \operatorname{rot} \mathbf{H}], \tag{3}$$

то для второй части давления $\Pi_2(\xi)$ и функции $\mu(t)$ будут справедливы уравнения [1]

$$\frac{d\Pi_2}{d\xi} \xi + 4\pi f \varphi(\xi) \int_0^\xi \eta^3 \varphi(\eta)\, d\eta = \frac{N}{2} \xi^3 \varphi(\xi); \tag{4}$$

$$\frac{d\mu}{dt} = \pm \mu^2 (N\mu + L); \tag{5}$$

$\varphi(\xi)$ является произвольной функцией, а N и L — произвольными постоянными. Уравнение (3) может быть удовлетворено только при $\gamma = 4/3$. Представляя $\mathbf{h}$ в форме [6]

$$\mathbf{h} = \mathbf{i}_z \times \vec{\xi} T(\xi, \theta) + \operatorname{rot} [\mathbf{i}_z \times \vec{\xi} P(\xi, \theta)],$$

получим из уравнений (1), (3), что функции $P(\xi, \theta)$, $T(\xi, \theta)$ должны удовлетворять уравнениям

$$\Delta_5 P + \frac{1}{\sigma^2} G(\sigma^2 P) = \Phi(\sigma^2 P); \tag{6}$$

$$\frac{d}{d(\sigma^2 P)} (\sigma^4 T^2) = 2G(\sigma^2 P). \tag{7}$$

Здесь $G(\sigma^2 P)$, $\Phi(\sigma^2 P)$ — произвольные функции; $\Delta_5 P$ — оператор Лапласа в 5-мерном пространстве начальных состояний при условии осевой симметрии; $\sigma = \xi \sin\theta$ — расстояние от оси симметрии. Используя, в частности, решение Прендергаста [7] и считая для простоты плотность линейной функцией радиуса ξ, можно построить решение задачи о пульсации магнитной сферы конечного радиуса R. Характеристики движения при этом будут иметь выражения:

$$v_r = -r \frac{\mu'(t)}{\mu(t)}, \quad \xi = r\mu(t), \quad \rho = \mu^3(t)\, \rho_0 \left(1 - \frac{\xi}{R}\right),$$

$$H_r = \frac{2K}{a^2} \mu^2(t) \cos\theta \left[1 - \left(\frac{R}{\xi}\right)^{3/2} \frac{J_{3/2}(a\xi)}{J_{3/2}(aR)}\right],$$

$$H_\theta = -\frac{K}{a^2} \mu^2(t) \sin\theta \left[2 - \frac{(aR)^{3/2}}{J_{3/2}(aR)} \left\{ \frac{J_{1/2}(a\xi)}{(a\xi)^{1/2}} - 2 \frac{J_{3/2}(a\xi)}{(a\xi)^{3/2}} \right\}\right],$$

$$H_\varphi = \frac{K}{a} \xi \mu^2(t) \sin\theta \left[1 - \left(\frac{R}{\xi}\right)^{3/2} \frac{J_{3/2}(a\xi)}{J_{3/2}(aR)}\right], \tag{8}$$

$$p = \mu^4(t) \left\{ -\frac{K^2}{4\pi a^2} \sin^2\theta \left[1 - \left(\frac{R}{\xi}\right)^{3/2} \frac{J_{3/2}(a\xi)}{J_{3/2}(aR)}\right] + p_0 - \right.$$

$$\left. - \frac{\pi f \rho_0^2}{4R^2} \xi^4 + \left(\frac{2p_0}{R^3} + \frac{1}{2} \frac{\pi f \rho_0^2}{R}\right) \xi^3 - \left(\frac{3p_0}{R^2} + \frac{1}{4} \pi f \rho_0^2\right) \xi^2 \right\},$$

$$\frac{d\mu}{dt} = \pm \mu^2 (N\mu + L)^{1/2}.$$

Здесь $J_p(a\xi)$ — функция Бесселя первого рода; a удовлетворяет уравнению $J_{5/2}(aR)=0$; K, p_0, ρ_0, L — произвольные постоянные, которые должны задаваться таким образом, чтобы имели место равенства

$$p > 0, \quad \frac{N}{2} = \frac{6p_0}{R^2\rho_0} - \frac{5}{6}\pi f\rho_0 > 0. \tag{9}$$

Если при этом выполнено условие $L < 0$, то все частицы газа имеют периодические пульсационные движения от начального положения к центру симметрии с последующим разлетом до некоторого максимального расстояния и возвратом к первоначальному положению. Легко видеть, что на границе сферы $\xi = R$ давление, плотность и магнитное поле обращаются в нуль.

В случае, когда $\gamma = 5/3$ и магнитное поле отсутствует, можно построить решение, соответствующее радиальной пульсации вращающихся частиц газа. При этом

$$v_r = -r\frac{\mu'(t)}{\mu(t)}, \quad \xi = r\mu, \quad v_\varphi = A\mu(t)\sqrt{\xi\sin\theta},$$

$$\rho = \mu^3(t)\rho_0, \quad p = p_0 + A^2\rho_0\mu^5\xi\sin\theta + \frac{\rho_0 N}{2}\xi^2,$$

$$\frac{d\mu}{dt} = \mu^2(N\mu^2 + K\mu + L)^{1/2}.$$

Здесь A, N, L, p_0, ρ_0 — произвольные постоянные; $K = {}^4/_3\pi f\rho_0$. При условии $K^2 - 4LN > 0$, $N < 0$ все частицы газа вращаются с переменной угловой скоростью и расстояния их от центра симметрии периодически уменьшаются и увеличиваются. Наименьший радиус частицы $r_{\min} = \xi/\mu_2$, наибольший $r_{\max} = \xi/\mu_1$; μ_1 и μ_2 — наименьший и наибольший положительные корни уравнения $N\mu^2 + K\mu + L = 0$. При сжатии угловая скорость вращения частицы возрастает, при разлете убывает.

II. Пульсация вращающегося плазменного цилиндра. Уравнения магнитной гидродинамики бесконечно проводящего газа при цилиндрической симметрии имеют вид

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r\frac{\partial v_r}{\partial r} - \frac{v_\varphi^2}{r} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r} - \frac{1}{8\pi\rho}\frac{\partial H_\varphi^2}{\partial r} - \frac{1}{4\pi\rho}\frac{H_\varphi^2}{r} - \frac{1}{8\pi\rho}\frac{\partial H_z^2}{\partial r} - \frac{2fM}{r},$$

$$\frac{\partial v_\varphi^2}{\partial t} + v_r\frac{\partial v_\varphi^2}{\partial r} + \frac{2}{r}v_r v_\varphi^2 = 0,$$

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + v_r\frac{\partial\rho}{\partial r} + \rho\left(\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r}\right) = 0, \tag{10}$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + v_r\frac{\partial p}{\partial r} + \gamma p\left(\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r}\right) = 0,$$

$$\frac{\partial H_\varphi^2}{\partial t} + v_r\frac{\partial H_\varphi^2}{\partial r} + 2H_\varphi^2\frac{\partial v_r}{\partial r} = 0,$$

$$\frac{\partial H_z^2}{\partial t} + v_r\frac{\partial H_z^2}{\partial r} + 2H_z^2\left(\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r}\right) = 0.$$

Здесь $M = 2\pi\int_0^\xi \eta\rho_1(\eta)\,d\eta$; ξ — начальный радиус; $\rho_1(\xi)$ — начальная плотность; f — гравитационная постоянная.

Легко видеть, что система удовлетворяется следующими частными решениями рассматриваемого здесь типа:

$$v_r = r\frac{\zeta'(t)}{\zeta(t)}, \quad \rho = \zeta^{-2}\frac{\Phi'(\xi)}{\xi}, \quad p = \zeta^{-2\gamma}F(\xi), \quad H_\varphi^2 = \zeta^{-2}\xi F_1(\xi), \tag{11}$$

$$H_z^2 = \zeta^{-4}F_2(\xi), \quad v_\varphi^2 = \zeta^{-2}\xi^2\Phi(\xi).$$

Здесь $\xi = r/\zeta(t)$ — лагранжева координата, соответствующая начальному радиусу; $\varphi(\xi)$ и $\Phi(\xi)$ — произвольные функции; $F(\xi)$, $F_1(\xi)$, $F_2(\xi)$ связаны с функциями $\varphi(\xi)$ и $\Phi(\xi)$ зависимостями

$$F(\xi) = A\varphi(\xi) + N,$$

$$\frac{1}{8\pi}\frac{d}{d\xi}[\xi F_1(\xi)] + \frac{1}{4\pi}F_1(\xi) + \frac{4\pi f}{\xi^2}\varphi(\xi)\varphi'(\xi) = B\varphi'(\xi), \qquad (12)$$

$$\frac{1}{8\pi}\frac{dF_2(\xi)}{d\xi} - \varphi'(\xi)\Phi(\xi) = D\varphi'(\xi);$$

$\zeta(t)$ — функция времени, удовлетворяющая уравнению

$$\left(\frac{d\zeta}{dt}\right)^2 = \frac{A}{\gamma-1}\zeta^{-2(\gamma-1)} - 2B\ln\zeta + D\zeta^{-2} + C = f(\zeta). \qquad (13)$$

Уравнение (13) исследовали А. Г. Куликовский ([3]), И. М. Яворская ([4]) и Е. В. Рязанов ([5]). В зависимости от значений произвольных постоянных A, B, C, D частицы газа могут, вращаясь около оси, слетаться к ней, разлетаться в бесконечность, иметь периодические пульсирующие радиальные движения.

Рассмотренное здесь решение зависит при любом γ от двух произвольных функций $\varphi(\xi)$ и $\Phi(\xi)$, характеризующих начальное распределение плотности и угловой скорости. При $\gamma = 2$ решение будет зависеть от 3 произвольных функций. В этом случае произвольно можно задать в начальный момент распределение давления.

Полученные решения могут быть приложены к исследованию радиальных пульсаций вращающегося плазменного цилиндра конечного радиуса R. При этом на границе цилиндра при $\xi = R$ должно быть выполнено условие равенства полных давлений снаружи и изнутри цилиндра. Этого можно добиться с помощью внешнего магнитного поля, вызванного поверхностным током. Сила тока может быть определена подобно тому, как это было сделано в работе ([3]).

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность Л. И. Седову за ценные советы и указания.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
27 VIII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. И. Седов, Методы подобия и размерности в механике, 1957. [2] М. Л. Лидов, ДАН, **97**, № 3 (1954). [3] А. Г. Куликовский, ДАН, **114**, № 5 (1957). [4] И. М. Яворская, ДАН, **114**, № 5 (1957). [5] Е. В. Рязанов, Прикл. матем. и мех., **23**, № 1 (1959). [6] S. Chandrasekhar, H. Prendergast Kevin, Proc. Nat. Acad. Sci. USA, **42**, № 1 (1956). [7] H. Prendergast Kevin, Astrophys. J., **123**, № 3 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

АСТРОНОМИЯ

Ю. Н. ПАРИЙСКИЙ

НОВЫЙ ИСТОЧНИК РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА САНТИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

(Представлено академиком В. А. Амбарцумяном 28 IX 1960)

В марте 1959 г. на большом пулковском радиотелескопе ([1]) проводились наблюдения фона радиоизлучения Галактики в избранных участках Млечного пути на волне 9,4 см. При склонении $\delta = 1°15'$ обнаружен новый источник радиоизлучения, расположенный в плоскости Галактики. Определенная по четырем измерениям кривая прохождения приведена на рис. 1.

Координаты источника оказались равными: $\alpha_{1950} = 18^h53^m38^s$, $\delta_{1950} = 1°15'$. Высокая разрешающая способность радиотелескопа позволила

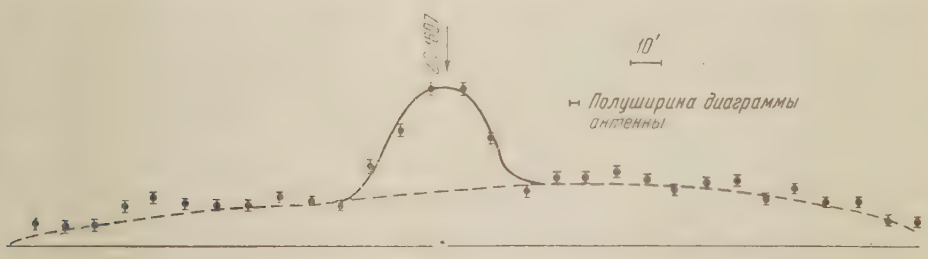


Рис. 1

определить угловые размеры источника $\varphi_i = 31',5$. Координаты источника прекрасно согласуются с источником № 44 по каталогу Вестерхаута ([2]), 2C1607 по второму кембриджскому каталогу ([3]) и с 18 + 01! каталога Миллса и др. ([4]). Поток радиоизлучения на волне 9,4 см составляет $(200 \pm 20) \cdot 10^{-26}$ вт/м^{2}гц, $185 \cdot 10^{-26}$ вт/м^{2}гц на волне 22 см ([2]) и $1500 \cdot 10^{-26}$ вт/м^{2}гц на волне 3,5 м ([3]). В отличие от обычных радиоисточников II класса, спектр источника плоский в коротковолновой области спектра. Это свидетельствует о наличии тепловой компоненты, которая является доминирующей в сантиметровом диапазоне. При потоке $P = 200 \cdot 10^{-26}$ вт/м^{2}гц и угловом размере $\varphi_i = 31',5$ это тепловое излучение соответствует мере эмиссии $ME = 1{,}6 \cdot 10^4$.

На фотографиях этой области неба в лучах H_α с большой экспозицией, полученных Г. А. Шайном и В. Ф. Газе в Симеизе, газовые туманности отсутствует, т. е. видимая мера эмиссии этого объекта не превосходит 400, а поглощение до него превышает $2{,}5 \ln \frac{1.6 \cdot 10^4}{400} = 6^m_{,}3$.

С другой стороны, среднее фотографическое поглощение в этом направлении, согласно ([5]), составляет $4^m_{,}1$ на 1 кпс, т. е. 3^m на 1 кпс в области H_α. Таким образом, расстояние до источника радиоизлучения r превосходит 2100 пс. При $r > 2100$ пс найдем ([6]), что $M/M_\odot > 700$, $N_e < 50$.

Положение этого источника относительно плоскости Галактики указывает на то, что он является галактическим объектом. Даже если допустить,

что такое положение обусловлено случайным проектированием какой-либо галактики, невидимой в оптической области из-за сильного поглощения, то масса ионизированного газа такой галактики будет на несколько порядков превосходить массы наиболее богатых газом галактик.

В метровом диапазоне волн этот источник имеет спектр, типичный для магнитно-тормозного излучения. В последнее время неоднократно высказывалось предположение, что значительное число галактических источников нетеплового радиоизлучения является остатками некогда вспыхнувших сверхновых.

Представляет интерес величина минимальной энергии, необходимой для объяснения свечения нового источника в радиодиапазоне. Если принять, что спектр источника $P_\nu = \nu^{-x}$, где $x = 0{,}55$, и на частоте $\nu = 100$ Мгц $P_\nu = 1000 \cdot 10^{-26}$ вт/м²гц, то его радиосветимость $P = 4\pi r^2 \int P_\nu \, d\nu > 3 \cdot 10^{34}$ эрг/сек при $r > 2100$ пс. Энергия релятивистских электронов определится величиной

$$\mathscr{E}_e = \int_{E_1}^{E_2} N(E)\, E\, dE, \quad N(E) = \frac{k}{E^\gamma}, \quad \gamma = 2x + 1.$$

Значения E_1 и E_2 определяются выражением

$$\nu_{1,2} = 4{,}19 \cdot 10^6 H \left(\frac{E_{1,2}}{mc^2}\right)^2, \quad \text{где } \nu_1 = 10^7, \ \nu_2 = 10^{10}.$$

Излучающие релятивистские электроны и позитроны являются продуктом деления мезонов, образующихся при соударениях релятивистских протонов с атомами межзвездной среды. Величина энергии первичных протонов $\mathscr{E}_p \cong 100\, \mathscr{E}_e$. Значение $\mathscr{E}_p$, необходимое для объяснения наблюдаемого радиоизлучения, зависит от магнитного поля H.

Как принято считать [7], наиболее вероятными физическими условиями в туманности являются такие, которые требуют минимальных энергетических затрат для объяснения наблюдаемого радиоизлучения. Можно показать, что эти условия имеют место при $\mathscr{E}_p = 3 \cdot 10^{50}$ эрг, $H = 1{,}7 \cdot 10^{-4}$ гаусс, когда магнитная энергия равна энергии первых космических частиц. Общая энергия (частиц и поля) составит поэтому более $6 \cdot 10^{50}$ эрг.

Таким образом, энергия, заключенная в объеме радиотуманности в настоящее время, существенно больше энергии, освобождающейся при взрыве обычной сверхновой (I типа). Единственный известный нам источник столь большой энергии — взрыв сверхновой II типа. В табл. 1 мы привели физические условия в новом источнике для сравнения с Большой Петлей в Лебеде и с I C 443, которые, согласно [8,9], также являются остатками сверхновых II типа.

Таблица 1

Объект	$\mathscr{E}_p$, эрг	H, гаусс	$\mathscr{E}_p^0 \times$ объем радиоисточника	Линейный размер, пс
Новый источник	$> 3 \cdot 10^{50}$	$1{,}7 \cdot 10^{-4}$	$1{,}7 \cdot 10^{47}$	> 20
I C 443	$6 \cdot 10^{49}$	$4 \cdot 10^{-5}$	$1{,}5 \cdot 10^{48}$	40 (?)
Петля в Лебеде	$1 \cdot 10^{48}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$1{,}5 \cdot 10^{48}$	40

Существенно, что в нашем случае наблюдаемое радиоизлучение уже возможно объяснить сжатием магнитного поля в расширяющейся оболочке туманности при обычной плотности первичных космических частиц в меж-

звездном пространстве (1 эв/см^3), так как энергия первичных космических частиц $\mathcal{E}_p^0$ будет лишь $1{,}7 \cdot 10^{47}$ эрг. Поэтому необходим внутренний источник частиц большой энергии. Это подтверждает гипотезу И. С. Шкловского ([10]), согласно которой сверхновые являются основным поставщиком первичных космических частиц в Галактике.

Автор выражает благодарность С. Э. Хайкину и Н. Л. Кайдановскому за интерес к работе, а также коллективу Симеизской астрофизической обсерватории за предоставление неопубликованных материалов.

Главная астрономическая обсерватория
Академии наук СССР

Поступило
28 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский и др. Изв. Главн. астр. обс. АН СССР, 21, № 164, 3 (1960); С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Приборы и техн. эксп., № 2, 19 (1959). [2] G. Westerhout, Bull. Astron. Inst. Netherlands, 14, № 488, 215 (1958). [3] J. R. Shakeshaft, Mem. Roy. Astron. Soc., 67, 97 (1955). [4] B. J. Mills, O. B. Slee, E. R. Hill, Austral. J. Phys., 11, 360 (1958). [5] П. П. Паренаго, Астр. журн., 22, № 13, 1 (1945). [6] Ю. Н. Парийский, Изв. Главн. астр. обс. АН СССР, 21, № 164, 54 (1960). [7] G. Burbidge, Paris Symp. on Radio Astronomy, Stanford, California, 1958, paper 98. [8] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, ibid., paper 62. [9] R. Minkowski, ibid., paper 61. [10] И. С. Шкловский, ДАН, 91, 475 (1953).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Ф. А. БЕРЕЗИН

КАНОНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПЕРАТОРОВ В ПРЕДСТАВЛЕНИИ ВТОРИЧНОГО КВАНТОВАНИЯ

(Представлено академиком И. Г. Петровским 26 X 1960)

1. Пусть $\hat{c}(\xi)$, $\hat{c}^*(\xi)$ — операторы, действующие в пространстве Гильберта H. Параметр ξ, нумерующий операторы, пусть пробегает некоторое множество Ξ, снабженное мерой $d\xi$. (В случаях, имеющих практическое значение, Ξ есть произведение конечномерного линейного пространства X, снабженного лебеговской мерой, на конечное или счетное множество.) Между операторами $\hat{c}$, $\hat{c}^*$ предположим выполненными соотношения коммутации

$$[\hat{c}(\xi),\ \hat{c}^*(\xi')] = \delta(\xi, \xi') \tag{1}$$

или

$$\{\hat{c}(\xi),\ \hat{c}^*(\xi')\} = \delta(\xi, \xi'). \tag{2}$$

При этом, как обычно, $[a, b] = ab - ba$, $\{a, b\} = ab + ba$; $\delta(\xi, \xi')$ — δ-функция Дирака: $\int \delta(\xi, \xi') f(\xi') d\xi' = f(\xi)$.

Случай, когда операторы $\hat{c}$, $\hat{c}^*$ удовлетворяют соотношениям (1), мы будем называть б о з е в с к и м случай, когда операторы $\hat{c}$, $\hat{c}^*$ удовлетворяют соотношениям (2), мы будем называть ф е р м и е в с к и м *.

2. Пусть $\hat{A}$ — линейный оператор в H, представимый в виде

$$\hat{A} = \sum \int K(\xi_1, \ldots, \xi_n \mid \eta_1, \ldots, \eta_p)\, \hat{c}^*(\xi_1) \ldots \hat{c}^*(\xi_n)\, \hat{c}(\eta_1) \ldots \hat{c}(\eta_p)\, d\xi_1 \ldots d\eta_p. \tag{3}$$

Рассмотрим линейное каноническое преобразование

$$\begin{aligned} \hat{c}(\xi) &= \int \Phi(\xi, \eta)\, \hat{a}(\eta)\, d\eta + \int \Psi(\xi, \eta)\, \hat{a}^*(\eta)\, d\eta, \\ \hat{c}^*(\xi) &= \int \overline{\Psi}(\xi, \eta)\, \hat{a}(\eta)\, d\eta + \int \overline{\Phi}(\xi, \eta)\, \hat{a}^*(\eta)\, d\eta. \end{aligned} \tag{4}$$

Подставив (4) в (3) и воспользовавшись перестановочными соотношениями между a, a^*, можно записать $\hat{A}$ в виде

$$\hat{A} = \sum \int \widetilde{K}(\xi_1, \ldots, \xi_n \mid \eta_1, \ldots, \eta_p)\, \hat{a}^*(\xi_1) \ldots \hat{a}^*(\xi_n)\, \hat{a}(\eta_1) \ldots \hat{a}(\eta_p)\, d\xi_1 \ldots d\eta_p. \tag{5}$$

Получение формулы (5) из (4) и (3) описанным способом связано с громоздкими, мало обозримыми вычислениями. Целью настоящей работы является установление связи между (3) и (5), минуя эти вычисления.

---

* Как именно следует построить пространство H и операторы $\hat{c}$, $\hat{c}^*$, чтобы выполнялись соотношения (1) или (2), для нас не важно.

3. Бозевский случай. Поставим каждому оператору $\hat{A}$, записанному в виде (3), в соответствие функционал

$$A(c^*, c) = \sum \int K(\xi_1, \ldots, \xi_n | \eta_1, \ldots, \eta_p) c^*(\xi_1) \ldots c^*(\xi_n) c(\eta_1) \ldots c(\eta_p) d\xi_1 \ldots d\eta_p; \quad (6)$$

$c^*(\xi)$, $c(\xi)$ — некоторые комплекснозначные функции на множестве Ξ. Тому же оператору, записанному в виде (5), поставим в соответствие аналогичный функционал

$$\widetilde{A}(a^*, a) = \sum \int \widetilde{K}(\xi_1 \ldots, \xi_n | \eta_1, \ldots, \eta_p) a^*(\xi_1) \ldots a^*(\xi_n) a(\eta_1) \ldots \\ \ldots a(\eta_p) d\xi_1 \ldots d\eta_p.$$

Очевидно, что соответствие между функционалами A и $\widetilde{A}$ является линейным. По аналогии с конечномерным случаем будем искать его в виде

$$\widetilde{A}(a^*, a) = \int \mathcal{K}(a^*, a | c^*, c) A(c^*, c) \prod_{\xi} dc^*(\xi)\, dc(\xi); \quad (7)$$

$\prod dc^*(\xi)\, dc(\xi)$ — символ континуального интегрирования. Нашей целью является вычисление $\mathcal{K}$.

Теорема 1. *Ядро $\mathcal{K}$ задается формулой*

$$\mathcal{K} = (\det \pi \Psi^* \Psi)^{-1} \exp\{-1/2 [(\Phi \bar{\Psi}^{-1} b, b) + (\Phi \bar{\Psi}^{-1} b^*, b^*) - 2(b^*, b)]\}, \quad (8)$$

где Ψ, $\bar{\Psi}$, Φ, $\bar{\Phi}$ — операторы, определяемые ядрами $\Psi(\xi, \eta)$, $\bar{\Psi}(\xi, \eta)$, $\Phi(\xi, \eta)$, $\bar{\Phi}(\xi, \eta)$ соответственно; $b(\xi) = \int \Phi(\xi, \eta) a(\eta)\, d\eta + \int \Psi(\xi, \eta) a^*(\eta)\, d\eta - c(\xi)$; $b^*(\xi) = \int \Psi(\xi, \eta) a(\eta)\, d\eta + \int \bar{\Phi}(\xi, \eta) a^*(r)\, dr - c^*(\xi)$; $(b_1, b_2) = \int b_1(\xi) b_2(\xi)\, d\xi$.

Интегрирование в (7) производится по контуру, вдоль которого $\mathrm{Re}\,[(\Phi \bar{\Psi}^{-1} c, c) + (\Phi \bar{\Psi}^{-1} c^*, c^*)] > 0$ *.

Дадим набросок вычисления ядра $\mathcal{K}$ для случая, когда Ξ — конечное множество, состоящее из n элементов. В этом случае $A(c^*, c)$, $\widetilde{A}(a^*, a)$ — функции $2n$ переменных. Введем в пространстве функций $A(c^*, c)$ операторы $c^*_{\text{л}}(\xi)$, $c_{\text{л}}(\xi)$, $c^*_{\text{пр}}(\xi)$, $c_{\text{пр}}(\xi)$ с таким расчетом, чтобы функция $c^*_{\text{л}}(\xi) A$ соответствовала оператору $\hat{c}^*(\xi) \hat{A}$, функция $c_{\text{л}}(\xi) A$ — оператору $\hat{c}_{\text{л}}(\xi) \hat{A}$ и т. д. Несложный подсчет показывает, что операторы $c^*_{\text{л}}$, $c_{\text{л}}$, $c^*_{\text{пр}}$, $c_{\text{пр}}$ задаются формулами

$$c^*_{\text{пр}}(\xi) A = \left(\frac{\partial}{\partial c(\xi)} - c(\xi)\right) A; \quad c_{\text{пр}}(\xi) A = c(\xi) A; \\ c^*_{\text{л}}(\xi) A = c^*(\xi) A; \quad c_{\text{л}}(\xi) A = \left(\frac{\partial}{\partial c^*(\xi)} + c(\xi)\right) A. \quad (9)$$

Аналогичные операторы рассмотрим в пространстве функций $\widetilde{A}(a^*, a)$.

---

* Это условие определяет путь интегрирования неоднозначно. Опишем более подробно важный класс путей интегрирования. Представим для этого $A = \bar{\Phi}\Psi^{-1}$ в виде $A = A_1 + iA_2$; $c(\xi)$, $c^*(\xi)$ в виде $c(\xi) = x(\xi) + iy(\xi)$, $c^*(\xi) = \widetilde{x}(\xi) + i\widetilde{y}(\xi)$; x, y, $\widetilde{x}$, $\widetilde{y}$ — вещественные функции; A_1, A_2 — эрмитовы операторы, переводящие вещественные функции в вещественные. Параметризуем путь интегрирования, положив $x = \alpha t$, $y = \beta t$, $\widetilde{x} = \alpha\tau$, $\widetilde{y} = \beta\tau$. $t = t(\xi)$, $\tau = \tau(\xi)$ — вещественные функции; α, β — некоторые операторы. Тогда $\prod dc\, dc^* = |\det(\alpha + i\beta)|^2 \prod dt\, d\tau$, $\mathrm{Re}\,[(\bar{\Phi}\Psi^{-1} c, c) + (\Phi\bar{\Psi}^{-1} c^*, c^*)] = ((\alpha' A_1 \alpha - \beta' A_1 \beta - \alpha' A_2 \beta - \beta' A_2 \alpha) t, t) + ((\alpha' A_1 \alpha - \beta' A_1 \beta - \alpha' A_2 \beta - \beta' A_2 \alpha)\tau, \tau)$. Таким образом, интегрировать можно по любому контуру описываемого вида, который определяется операторами α, β, удовлетворяющими условиям: 1) $\alpha' A_1 \alpha - \beta' A_1 \beta - \alpha' A_2 \beta - \beta' A_2 \alpha > 0$; 2) $0 < |\det(\alpha + i\beta)|^2 < \infty$.

Подставим в (7) вместо A $c_л A$. Учитывая (4), имеем *

$$\sum (\Phi(\xi, \eta)\, a_л(\eta) + \Psi(\xi, \eta)\, a^*_л(\eta))\, \widetilde{A} = \int \mathcal{K}(a^*, a \mid c^*, c)\, c_л(\xi)\, A \Pi\, dc^* dc. \quad (10)$$

С другой стороны,

$$\sum (\Phi(\xi, \eta)\, a_л(\eta) + \Psi(\xi, \eta)\, a^*_л(\eta))\, \widetilde{A} = \int \sum (\Phi(\xi, \eta)\, a_л(\eta) + \Psi(\xi, \eta)\, a^*_л(\eta)) \times \mathcal{K} A \Pi\, dc^* dc. \quad (10')$$

Подставим в (10) $c_л(\xi)$ из (9) и проинтегрируем по частям. Сравнивая полученный результат с (10′) и заменяя $a_л$, $a^*_л$ их явными выражениями, получаем для $\mathcal{K}$ уравнение

$$\sum \left[\Phi(\xi, \eta)\left(\frac{\partial}{\partial a^*(\eta)} + a(\eta)\right) + \Psi(\xi, \eta)\, a^*(\eta)\right] \mathcal{K} = \left(c(\xi) - \frac{\partial}{\partial c^*(\xi)}\right) \mathcal{K}. \quad (11a)$$

Аналогичным образом, подставляя в (7) вместо A $c^*_л A$, $c_{пр} A$, $c^*_{пр} A$, получаем для $\mathcal{K}$ еще три уравнения:

$$\sum \left[\overline{\Psi}(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial a^*(\eta)} + \overline{\Psi}(\xi, \eta)\, a(\eta) + \overline{\Phi}(\xi, \eta)\, a^*(\eta)\right] \mathcal{K} = c^*(\xi)\, \mathcal{K}; \quad (11b)$$

$$\sum \left[\Psi(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial a(\eta)} + \Phi(\xi, \eta)\, a(\eta) + \Psi(\xi, \eta)\, a^*(\eta)\right] \mathcal{K} = c(\xi)\, \mathcal{K}; \quad (11c)$$

$$\sum \left[\overline{\Phi}(\xi, \eta) \frac{\partial}{\partial a(\eta)} + \overline{\Psi}(\xi, \eta)\, a(\eta) + \overline{\Phi}(\xi, \eta)\, a^*(\eta)\right] \mathcal{K} = \left(-\frac{\partial}{\partial c(\xi)} + c^*(\xi)\right) \mathcal{K}. \quad (11d)$$

Кроме уравнений (11), $\mathcal{K}$ удовлетворяет нормировочному условию

$$\int \mathcal{K}(a^*, a \mid c^*, c) \Pi\, dc^* dc = 1. \quad (11')$$

Условие (11′) является выражением того обстоятельства, что при каноническом преобразовании единичный оператор переходит в единичный. Уравнения (11) вместе с условием (11′) имеют единственное решение.

Путь интегрирования в (7) определяется из двух условий: во-первых, интеграл (7), должен существовать для достаточно большого запаса функций A, представляющих операторы; во-вторых, должна быть справедлива формула интегрирования по частям

$$\int \mathcal{K} \frac{\partial A}{\partial c(\xi)} \Pi\, dc^* dc = -\int \frac{\partial \mathcal{K}}{\partial c(\xi)} A \Pi\, dc^* dc;$$

$$\int \mathcal{K} \frac{\partial A}{\partial c^*(\xi)} \Pi\, dc^* dc = -\int \frac{\partial \mathcal{K}}{\partial c^*(\xi)} A \Pi\, dc^* dc.$$

4. Ф е р м и е в с к и й с л у ч а й. Рассмотрим грассманову алгебру G, порожденную элементами $c(\xi)$, $c^*(\xi)$, т. е. алгебру с образующими $c(\xi)$, $c^*(\xi)$, удовлетворяющими соотношениям

$$\{c(\xi), c(\xi')\} = \{c(\xi), c^*(\xi')\} = \{c^*(\xi), c^*(\xi')\} = 0.$$

Каждому оператору $\hat{A}$, задаваемому формулой (3), поставим в соответствие элемент G

$$A(c^*, c) = \sum \int K(\xi_1, \ldots, \xi_n \mid \eta_1 \ldots \eta_p)\, c^*(\xi_1) \ldots c^*(\xi_n)\, c(\eta_1) \ldots c(\eta_p)\, d\xi_1 \ldots d\eta_p.$$

Рассуждение, аналогичное проведенному в предыдущем пункте, показывает, что каноническое преобразование порождает линейное преобразование в G. Будем искать это преобразование в виде

$$\widetilde{A}(a^*, a) = \int^F \mathcal{K}(a^*, a \mid c^*, c)\, A(c^*, c) \prod_\xi dc^*(\xi)\, dc(\xi). \quad (12)$$

---

* Так как множество Ξ предполагается конечным, интеграл из (4) заменен здесь суммой.

Прежде чем описывать ядро $\mathcal{K}$, определим $\int^F \ldots \Pi\, dc^* dc$. Пусть сначала $\widetilde{G}$ — конечная грассманова алгебра с образующими $x_1, \ldots, x_n$. Введем символы $dx_1 \ldots dx_n$ и подчиним их соотношениям коммутации: $\{dx_i, dx_k\} = \{dx_i, x_k\} = 0$. Положим далее по определению

$$\int^F dx_k = 0, \quad \int^F x_k\, dx_k = 1. \tag{13}$$

Кратный интеграл будем понимать как повторный. Определенный таким образом интеграл на алгебре $\widetilde{G}$ будем называть фермиевским интегралом*.

Континуальный интеграл в (12) будем понимать как предел n-кратных фермиевских интегралов, подобно тому, как обычный континуальный интеграл понимается как предел обычных n-кратных интегралов.

Теорема 2. *В фермиевском случае ядро* $\mathcal{K}$ *равно*

$$\mathcal{K} = (\det \Psi\Psi^*)^{1/2} \exp {}^1/_2 [(\Phi\Psi^{-1}b,\ b) - (\Phi\overline{\Psi}^{-1} b^*, b^*) + 2\,(b^*, b)] \tag{14}$$

(обозначения те же, что в (7)).

Приведем набросок вычисления для случая, когда Ξ — конечное множество и, следовательно, G — конечная грассманова алгебра. Пусть сначала $\widetilde{G}$ — произвольная конечная алгебра Грассмана с образующими $x_1, \ldots, x_n$. Для произвольного $F \in \widetilde{G}$ определим левую и правую производные $\frac{\partial}{\partial x_k} F$ и $F \frac{\partial}{\partial x_k}$ следующим образом: если $F = x_{i_1} \ldots x_{i_l}$, $x_k \neq x_{i_s}$ ни при каком s, то $\frac{\partial}{\partial x_k} F = F \frac{\partial}{\partial x_k} = 0$. Если $F = x_{i_1} \ldots x_{i_{s-1}} x_k x_{i_{s+1}} \ldots x_{i_l}$, то $\frac{\partial}{\partial x_k} F = (-1)^{s+1} x_{i_1} \ldots x_{i_{s-1}} x_{i_{s+1}} \ldots x_{i_l}$; $F \frac{\partial}{\partial x_k} = (-1)^{l-s} x_{i_1} \ldots x_{i_{s-1}} x_{i_{s+1}} \ldots x_{i_l}$. На линейные комбинации одночленов левая и правая производные переносятся обычным образом.

Имеют место формулы интегрирования по частям:

$$\begin{gathered}\int^F F \left(\frac{\partial}{\partial x_k} G\right) dx_1 \ldots dx_n = \int^F \left(F \frac{\partial}{\partial x_k}\right) G\, dx_1 \ldots dx_n, \\ \int^F F \left(G \frac{\partial}{\partial x_k}\right) dx_1 \ldots dx_n = -\int^F \left(\frac{\partial}{\partial x_k} F\right) G\, dx_1 \ldots dx_n.\end{gathered} \tag{15}$$

Возвращаемся к нашей задаче. Прежде всего рассмотрим операторы $c^*_{\text{л}}$, $c^*_{\text{пр}}$, $c_{\text{л}}$, $c_{\text{пр}}$, аналогичные соответствующим операторам в бозевском случае. Эти операторы оказываются равными

$$\begin{gathered}c^*_{\text{л}}(\xi)\, F = c^*(\xi)\, F, \quad c^*_{\text{пр}}(\xi)\, F = F \left(\frac{\partial}{\partial c\,(\xi)} + c^*(\xi)\right), \\ c_{\text{л}}(\xi)\, F = \left(\frac{\partial}{\partial c^*\,(\xi)} + c(\xi)\right) F, \quad c_{\text{пр}}(\xi)\, F = F\, c(\xi).\end{gathered} \tag{16}$$

Используя (16) и формулы интегрирования по частям (15), составляем уравнения для ядра, исходя из тех же соображений, что в бозевском случае. Получаемые уравнения почти не отличимы от (11). Кроме этих уравнений остается в силе условие (11′). Уравнения совместно с этим условием определяют $\mathcal{K}$ однозначно.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
22 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. М. Халатников, ЖЭТФ, 28, 635 (1955).

* Эквивалентное, но отличное по форме определение фермиевского интеграла см. [1].

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИКА

М. И. ШАХПАРОНОВ и Д. К. БЕРИДЗЕ

РЕЛЕЕВСКОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В РАСТВОРАХ АЦЕТОНА В ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОМ УГЛЕРОДЕ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 26 X 1960)

Несмотря на то, что молекулы ацетона имеют большой дипольный мо-
т ($\mu_{(CH_3)_2CO} = 3{,}0$д), в жидком ацетоне при температурах выше 20°
ентационная упорядоченность молекул, по-видимому, практически от-
ствует (1). Можно ожидать, что в растворах $(CH_3)_2CO$ — CCl_4 ориента-
нная упорядоченность молекул также не возникает. Проверка этого
дположения представляет интерес для молекулярной теории концентри-
анных неидеальных растворов в связи с тем, что в растворах
$H_3)_2$ CO — CCl_4 обнаруживаются довольно значительные положительные
лонения от закона Рауля. Нами были исследованы интенсивность I
тепень деполяризации Δ монохроматического неполяризованного света,
сеянного под углом 90° растворами ацетона в четыреххлористом углеро-
при 0, 25 и 40°.

После химической очистки и перегонки индивидуальные жидкости
ели следующие свойства: ацетон $T_к = 56{,}4°$ при 760 мм рт. ст.,
$= 1{,}35823$, $\rho_4^{20} = 0{,}7908$ четыреххлористый углерод $T_к = 76{,}7$ при
) мм рт. ст., $n_D^{20} = 1{,}4598$, $\rho_4^{25} = 1{,}5840$.

Методика исследования та же, что в (2). За единицу измерения I прини-
лась интенсивность рассеяния неполяризованного света в бен-
ле при 25°. Результаты измерений I и Δ для длин волн 4358, 5460
780 Å приведены в табл. 1. Для чистых компонентов наши данные в основ-

Таблица 1

Интенсивность I, степень деполяризации Δ и показатель преломления света, рассеянного растворами четыреххлористый углерод (1) — ацетон (2)

0° C						25° C						40° C					
	4358 Å		5460 Å		5780 Å		4358 Å		5460 Å		5780 Å		4358 Å		5460 Å		5780 Å
n_D	I	$\Delta \cdot 100$	I	$\Delta \cdot 100$	I	n_D	I	$\Delta \cdot 100$	I	$\Delta \cdot 100$	I	n_D	I	$\Delta \cdot 100$	I	$\Delta \cdot 100$	I
1,4697	0,30	5,0	0,28	4,8	0,27	1,4576	0,36	4,9	0,33	4,9	0,32	1,4508	0,40	5,0	0,36	4,9	0,36
1,4545	0,38	5,8	0,36	6,1	0,35	1,4426	0,44	5,2	0,40	5,4	0,39	1,4359	0,44	5,0	0,43	5,0	0,42
1,4383	0,42	6,9	0,42	6,9	0,39	1,4263	0,48	6,3	0,48	6,1	0,42	1,4195	0,53	5,4	0,50	5,4	0,48
1,4255	0,42	7,2	0,41	7,3	0,37	1,4143	0,47	6,4	0,45	6,1	0,41	1,4076	0,52	5,9	0,50	6,0	0,48
1,4187	0,42	7,3	0,41	7,4	0,39	1,4064	0,46	6,7	0,44	6,8	0,40	1,3997	0,50	6,3	0,47	6,3	0,46
1,4057	0,39	10,0	0,38	10.0	0,35	1,3937	0,41	8,4	0,39	8,3	0,39	1,3869	0,46	7,2	0,44	7,2	0,41
1,3865	0,32	13,3	0,30	13,4	0,29	1,3746	0,35	11,1	0,33	11,0	0,32	1,3681	0,39	10,0	0,36	9,9	0,29
1,3685	0,23	20,3	0,22	20.0	0,22	1,3557	0,25	16,6	0,23	16,6	0,23	1,3492	0,29	15,2	0,27	15,4	0,27

1 совпадают с данными работы М. Ф. Вукса и М. Н. Даденковой (3).
большое различие в значениях I для ацетона, возможно, объясняется
, что нами учитывалась поправка на показатель преломления жидкости.
еньшение значений I с ростом λ в табл. 1 вызвано, по-видимому, диспер-

сией показателя преломления n. С помощью значений I и Δ, приведенны в табл. 1, были вычислены интенсивности рассеяния света на флуктуация анизотропии $I_а$, плотности $I_{пл}$ и концентрации $I_к$. Метод расчета изложен в (4

Таблица 2

Интенсивность рассеяния света на флуктуациях анизотропии и флуктуациях плотности в ацетоне и четыреххлористом углероде

t, °C	$(CH_3)_2CO$				CCl_4			
	$I_{пл}$, эксп.	$I_{пл}$, ур-ние (1)	$I_{пл}$, ур-ние (2)	$I_а$	$I_{пл}$, эксп.	$I_{пл}$, ур-ние (1)	$I_{пл}$, ур-ние (2)	$I_а$
0,0	0,15	0,16	0,14	0,08	0,27	$0,25_4$	0,20	0,03
25,0	0,17	0,19	0,15	0,08	$0,32_5$	$0,31_5$	0,24	0,03
40,0	0,21	$0,21_6$	0,20	0,08	0,36	0,36	0,28	0,04

В табл. 2 приведены значения $I_{пл}$ и $I_а$ $(CH_3)_2$ CO и CCl_4. На рис. 1 изобр жены результаты расчета $I_а$, $I_{пл}$ и $I_к$ в растворах при 25° и λ 4360 Å. Расчет для других исследованных нами температур и длин волн приводят к таки же зависимостям, как на рис. 1.

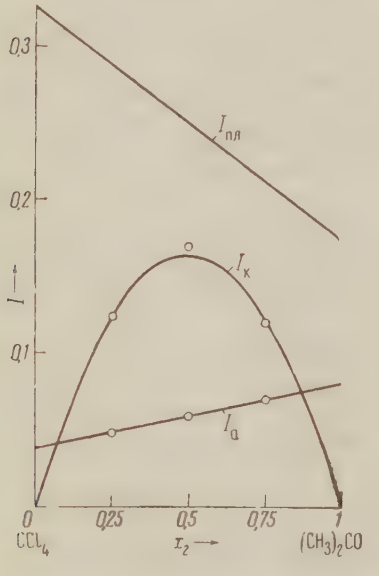


Рис. 1. Зависимость интенсивности рассеян света на флуктуациях плотности $I_{пл}$, анизотр пии $I_а$ и концентрации $I_к$ от состава раствор ацетона в четыреххлористом углероде при 25° λ 4358 Å (интенсивность рассеяния в бензо при λ 4358 Å принята равной 1). Точки — резу таты теоретических расчетов $I_к$ и $I_а$; сплошн линии—результат опыта; x_2—мольная доля ацето

В табл. 2 теоретические значения $I_{пл}$ вычислялись по формулам

$$I_{пл} = \frac{\pi^2 kT}{2\lambda^4 R_{C_6H_6}} \beta_t (n^2 - 1)^2 \left(\frac{n^2+2}{3}\right)^2;$$

$$I_{пл} = \frac{\pi^2 kT}{2\lambda^4 R_{C_6H_6}} \beta_t (n^2 - 1)^2,$$

где $R_{C_6H_6}$ — коэффициент рассеяния бензола при 25° и 4358 Å; n — пок затель преломления; β_t — изотермическая сжимаемость (5). Нами бы взято «высокое» значение $R_{C_6H_6} = 48{,}5 \cdot 10^{-6}$ при расчете по уравнению и «низкое» значение $R_{C_6H_6} = 33{,}0 \cdot 10^{-6}$ при расчете по уравнению (2). Р зультаты расчета подтверждают вывод о правильности уравнения (1) и «в соких» значений $R_{C_6H_6}$ (1, 6).

Если молекулы в растворе не имеют ориентационной упорядоченнос то анизотропное рассеяние должно следовать уравнению

$$I_а = \frac{13}{45} \frac{8\pi^4}{\lambda^4 R_{C_6H_6}} N \left(\frac{n^2+2}{3}\right)^4 \sum x_i \gamma_i^2,$$

де N — число молекул в 1 см³ раствора, x_i — мольная доля компонента , γ_i^2 — оптическая анизотропия поляризуемости молекулы i, вычисляемая по формуле

$$\gamma_i^2 = {}^1/_2\,[(a_{1i} - a_{2i})^2 + (a_{1i} - a_{3i})^2 + (a_{2i} - a_{3i})^2];$$

a_{1i}, a_{2i}, a_{3i} — главные полуоси эллипсоида поляризуемости молекулы i.

Так как $\gamma^2_{CCl_4} = 0$, то для жидкого CCl_4 теория приводит к значению $I_a = 0$. Однако опыт показывает (см. табл. 2), что CCl_4 имеет небольшое анизотропное рассеяние. Это противоречие многократно обсуждалось в литературе (см. обзор [7], а также [8]), но не получило удовлетворительного объяснения. Из табл. 2 следует, что в CCl_4 анизотропное рассеяние с увеличением температуры возрастает пропорционально рассеянию на флуктуациях плотности. Можно думать, что под влиянием флуктуаций плотности в CCl_4 возникает локальная анизотропия поля, действующего на молекулы. Это обусловливает появление анизотропии в состоянии поляризации молекул CCl_4, а следовательно, и флуктуаций анизотропии, которые вызывают дополнительное деполяризованное рассеяние света. Иначе говоря, анизотропное рассеяние света в CCl_4, по-видимому, вызвано связью между флуктуациями плотности и анизотропии, $\Delta\rho\Delta a$, которая не учитывается при выводе уравнения (3).

Эффективные значения γ_i^2 молекул ацетона и четыреххлористого углерода могут быть вычислены по данным об I_a этих жидкостей. Для жидкого ацетона расчет приводит к значению γ^2, в пределах ошибок опыта совпадающему со значением оптической анизотропии молекул ацетона в газовой фазе. Подставляя эффективные значения γ_i^2 в уравнение (3), можно рассчитать I_a растворов. Полученные значения I_a растворов, как показывает рис. 1, хорошо согласуются со значениями I_a, вычисленными по экспериментальным данным об I и Δ света, рассеянного растворами. Это подтверждает предположение об отсутствии ориентационной упорядоченности молекул в растворах ацетон — четыреххлористый углерод

Рис. 1 показывает, что концентрационное рассеяние проходит через максимум при $x \approx 0{,}5$. Как известно:

$$I_к = \frac{I_0 V}{r^2}\,\frac{\pi^2}{2\lambda^4 N_A}\,\frac{M_2\,(\partial n^2/\partial c)^2}{m_1 \partial \ln P_2/\partial c}, \qquad (4)$$

где N_A — число Авогадро, M_2 — молекулярный вес компонента 2; $c = m_2/m_1$; r — расстояние от точки наблюдения до центра рассеивающего объема; P_2 — парциальное давление насыщенного пара компонента 2; m_1 и m_2 — массы компонентов 1 и 2 в 1 см³ раствора.

Так как $\frac{\partial}{\partial c} = \frac{M_1}{M_2}\,x_1^2\,\frac{\partial}{\partial x_2}$ и, согласно [9], $\frac{\partial \ln P_2}{\partial x_2} = \frac{1}{x_2} - \frac{\tau z x_1}{kT}$, то

$$I_к = \frac{I_0 \pi^2 V}{2r^2 N \lambda^4}\left(\frac{\partial n^2}{\partial x_2}\right)^2 x_1 x_2 \left(1 - \frac{\tau z x_1 x_2}{kT}\right)^{-1}, \qquad (5)$$

где N — число молекул в 1 см³ раствора; z — среднее координационное число молекул в растворе; $\tau = \text{const}_1\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 \approx \text{const}_2\left(\frac{\mu_1^2}{v_1} - \frac{\mu_2^2}{v_2}\right)$; μ_1 и μ_2 — дипольные моменты молекул; v_1 и v_2 — объемы молекул, ε_1 и ε_2 — статические диэлектрические проницаемости компонентов 1 и 2.

Величина τz зависит от молекулярной структуры раствора, размеров молекул и сил, действующих между молекулами. Можно полагать, что в различных растворах ацетона в неполярных низкомолекулярных веществах Y, где v_1 и v_2 не очень значительно различаются, значения τz приблизительно одинаковы и не зависят от концентрации. Пользуясь значением $I_к$ при какой-либо одной концентрации раствора $(CH_3)_2CO$ — Y, можно по

уравнению (5) вычислить $\tau z/kT$, а затем рассчитать $I_к$ для других концен раций или других Y. Согласно экспериментальным данным ([4]) для раство ацетон — бензол при концентрации $x = 0{,}5$, $I_к = 0{,}22$ и $\partial n/\partial x = 0{,}3$ Подставляя эти значения в уравнение (5), находим $\tau z/kT = 0{,}5$. Для ра творов ацетон — четыреххлористый углерод $\partial n/\partial x = 0{,}12$ и почти не зав сит от x. Пользуясь этими значениями $\partial n/\partial x$ и $\tau z/kT$ и значениями n табл. 1, получаем для $x_{ац} = 0{,}25$ $I_к = 0{,}124$; для $x_{ац} = 0{,}5$ $I_к = 0{,}17$ и для $x_{ац} = 0{,}75$ $I_к = 0{,}120$. Опыт (см. рис. 1) приводит к значениям I равным соответственно 0,124; 0,164 и 0,120. Следовательно, уравнение (5) по-видимому, правильно выражает зависимость интенсивности рассеяни света на флуктуациях концентрации от состава растворов ацетона в непо лярных низкомолекулярных веществах.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
24 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] М. И. Шахпаронов, ДАН, **137**, № 1 (1961). [2] Д. К. Беридзе М. И. Шахпаронов, Уч. зап. Моск. обл. пед. инст. им. Н. К. Крупской, **92**, в. 4 49 (1960). [3] М. Ф. Вукс, М. Н. Даденкова, Сборн. Строение и физические свойст ва вещества в жидком состоянии, Киев, 1954, стр. 185. [4] М. И. Шахпаронов Н. Г. Шлепкина, ЖФХ, **28**, 1910 (1954). [5] J. D'Ans, E. Lax, Taschenbuc für Chemiker und Physiker, Berlin, 1943, S. 768. [6] Л. П. Зацепина, М. И. Шах паронов, Вестн. Моск. унив., сер. физ. и астр., № 4 (1960). [7] R. Le Févre B. Rao, J. Chem. Soc., **1957**, 3644. [8] A. D. Buckingham, M. J. Stephen Trans. Farad. Soc., **53**, 884 (1957). [9] М. И. Шахпаронов, Введение в молекуляр ную теорию растворов, 1956, стр. 470.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. Н. ПАВЛОВА и Л. А. ШРЕЙНЕР

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРУЖЕНИЯ НА ПЛАСТИЧНОСТЬ МРАМОРА ПРИ ВДАВЛИВАНИИ

(Представлено академиком П. Я. Кочиной 19 XI 1960)

Определяющим видом деформации во многих технологических процессах разрушения горных пород является вдавливание, при котором под плоскостью контакта с инструментом в объеме горной породы возникает значительное по величине неравномерное всестороннее сжатие. В условиях всестороннего сжатия большинство горных пород обнаруживает пластические свойства, вследствие чего на кинетику процесса их деформации и разрушения большое влияние оказывает скорость нагружения.

В Институте геологии и разработки горючих ископаемых АН СССР в течение последних лет проводились исследования по изучению влияния скорости нагружения на пластические и прочностные свойства горных пород при вдавливании. Эти исследования проводились с целью выяснения зависимости основных механических характеристик горных пород, отражающих суммарное влияние различных свойств пород, от скорости нагружения, знание которой необходимо для оценки сопротивления горных пород и разработки эффективных режимов их разрушения в различных способах бурения (вращательном, ударном и др.). Ниже излагаются результаты исследования свойств мрамора при статическом и динамическом нагружении.

Разрушению мрамора при вдавливании предшествует значительная по величине пластическая деформация, как и для многих пород осадочной толщи земной коры.

Испытания мрамора производились на гидравлическом прессе и пневматическом копре ([1]). Исследуемый диапазон скоростей нагружения от 10^{-6} м/сек (статические испытания) до 50 м/сек. Статические испытания проводились по методике, разработанной одним из авторов настоящей статьи ([2]).

Методика динамических испытаний разрабатывалась специально для проведения исследования влияния скорости нагружения на механические свойства горных пород. При динамическом испытании на плоскую полированную поверхность блока породы устанавливался цилиндрический штамп с плоским основанием диаметром 10 мм, вдавливание которого в породу происходило при ударе о него бойка, летящего с заданной скоростью в направляющей трубе копра.

Для каждого опыта производились измерения возникающего динамического усилия, деформации породы под штампом и скорости соударения. Измерение усилия осуществлялось проволочными тензодатчиками, деформации породы — емкостным датчиком, а регистрация — с помощью двухлучевого катодного осциллографа. Измерение скорости соударения бойка со штампом, по которой рассчитывалась скорость соударения штампа с породой, производилось на выходе бойка из направляющей трубы копра. Для установления продолжительности соударения на один из лучей осциллографа подавался сигнал фиксированной частоты от звукового генератора.

Одновременная и раздельная запись зависимостей усилие — время и деформация — время позволила установить графические зависимости уси-

лие — деформация при динамическом нагружении и рассчитать по методике статического вдавливания все искомые механические характеристики горной породы.

Было исследовано также влияние скорости нагружения на энергоемкость процесса разрушения, для чего по скорости и весу бойка-ударника производился расчет запасенной штампом энергии, а также замерялись зоны разрушения, получающиеся при вдавливании штампа.

Для каждой скорости нагружения определялись твердость, предел текучести, коэффициент пластичности (отношение общей работы деформаций по графику усилие — деформация к работе упругих деформаций) ([2]), а также объемная работа разрушения. На каждой скорости нагружения было произведено не менее 5—10 опытов. Общая погрешность измерений, оцениваемая в 10—15%, получалась главным образом при обработке осциллограмм.

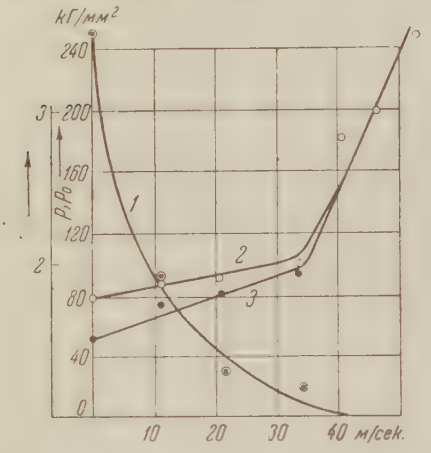


Рис. 1. *1* — коэффициент пластичности K; *2* — твердость по штампу p; *3* — предел текучести p_0

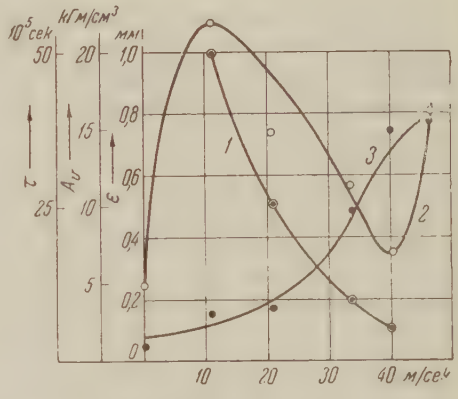


Рис. 2. *1* — время нагружения τ; *2* — общая деформация до разрушения ε; *3* — объемная работа разрушения A_v.

На рис. 1 и 2 приведено изменение отдельных механических характеристик мрамора в функции скорости нагружения.

Как видно из рис. 1, с ростом скорости нагружения сопротивление деформации растет, при этом в пределах скоростей до 30—35 м/сек как прочность, так и предел текучести мрамора возрастают довольно медленно, в области же более высоких скоростей нагружения наблюдается резкое возрастание сопротивления вдавливанию. Так же как при деформации металлов, для мрамора более резкое повышение сопротивления наблюдается в области малых пластических деформаций (рост предела текучести на рис. 1). В диапазоне скоростей до 30—35 м/сек коэффициент пластичности исследуемого мрамора уменьшился с 3,5 до 1, что соответствует переходу мрамора в категорию хрупких пород, не обнаруживающих пластических свойств в процессе деформации вдавливанием.

Рост сопротивления деформации мрамора при увеличении скорости нагружения, как и рост сопротивления металлов, по-видимому, может быть объяснен при рассмотрении двух одновременно протекающих процессов — упрочнения и разупрочнения ([3]).

Следует, однако, подчеркнуть, что, как и при деформации металлов, объяснение влияния скорости нагружения на сопротивление горных пород упрочнением и разупрочнением правомочно лишь до каких-то определенных значений скоростей нагружения ([4]). Резкий рост твердости мрамора при скоростях нагружения, бо́льших 30—35 м/сек, связан, главным образом, с возрастанием инерционного сопротивления породы.

На рис. 2 изображены зависимости деформации, времени нагружения и энергоемкости процесса разрушения мрамора от скорости нагружения. Весьма интересна сложная зависимость деформации мрамора от скорости нагружения. В пределах малых скоростей (до 10—15 м/сек), когда, по-видимому, процесс распространения деформации незначительно отличается от статического, происходит рост деформаций с ростом скорости нагружения. При дальнейшем повышении скорости нагружения время действия приложенных сил становится очень малым, процесс распространения деформаций приобретает волновой характер, пластическая деформация не успевает распространиться на значительное расстояние, поэтому происходит ее локализация, и тем бо́льшая, чем больше скорость нагружения. Эта зависимость деформации от скорости нагружения представлена на рис. 2 падающей ветвью кривой в диапазоне скоростей нагружения от 10—15 до 30—35 м/сек. При скоростях нагружения, бо́льших 40 м/сек, мрамор, как уже указывалось выше, практически перестает обнаруживать пластические свой-

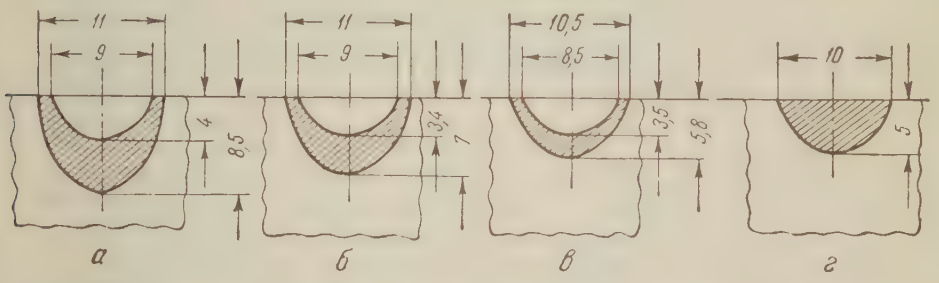


Рис. 3. Пластически деформированные зоны (заштрихованы): *а* — статическое вдавливание, *б* — скорость 20 м/сек, *в*— скорость 32 м/сек, *г* — скорость 40 м/сек

ства, в связи с чем происходит изменение процесса его деформации и разрушения. Первые трещины разрушения в этом случае возникают на поверхности породы, как и при разрушении хрупких пород, а не на глубине, в месте возникновения максимальных касательных напряжений. Как видно из рис. 2, этому изменению процесса разрушения соответствует повторный рост деформаций мрамора.

На рис. 2 приведена также зависимость времени, необходимого для достижения разрушающего напряжения (твердости), от скорости нагружения, которая подтверждает установленную многими исследователями экспоненциальную зависимость времени нагружения от напряжения ([5]).

Энергоемкость процесса разрушения возрастает с ростом скорости нагружения во всем исследованном диапазоне (рис. 2), что связано главным образом с замедленным ростом объемов зон разрушения по сравнению с ростом потребных энергий при увеличении скорости нагружения.

Для выявления пластической зоны в мраморе и ее изменений при переходе от статического к динамическому вдавливанию с разными скоростями нагружения был применен метод облучения γ-лучами (источник кобальт 60, интенсивность 17 Мг), так как никакими другими путями не удается обнаружить пластически деформированную зону. Это объясняется тем, что трансляционное ско́льжение в кристаллах кальцита не оставляет видимых следов, но после облучения оно выявляется за счет резкого изменения окраски ([6]). Облучались аншлифы образцов деформированного при статическом и динамическом нагружении мрамора. Для этих исследований усилия при испытаниях были несколько меньше тех, при которых происходит полное разрушение.

Из рис. 3 видно, что с ростом скорости нагружения пластически деформированная зона уменьшается. При скорости, близкой к 40 м/сек, эта зона имеет минимальную величину, но в этом случае пластическая деформация захватывает и ядро породы, прилегающее к основанию штампа. Деформация

ядра, по-видимому, представляет собой явление вторичного происхождения, связанное с глубоким выколом породы по контуру штампа. Следует также отметить, что пластические зоны при динамическом нагружении имеют более густую окраску, что свидетельствует о большей интенсивности искажений кристаллической решетки в связи с ростом напряжений.

Авторы выражают благодарность Г. И. Баренблатту и Л. С. Полаку за ценные советы и помощь в работе.

Институт геологии и
разработки горючих ископаемых
Академии наук СССР

Поступило
30 VI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] П. П. Ковтуненко, Н. Н. Павлова, Изв. Высш. учебн. завед., Нефть и газ, № 7 (1958). [2] Л. А. Шрейнер, О. П. Петрова, ДАН, 96, № 3, 511 (1954); Л. А. Шрейнер и др., Механические и абразивные свойства горных пород, 1958. [3] В. Д. Кузнецов, Физ. тверд. тела, 5, Томск, 1949. [4] Ф. Ф. Витман, В. А. Степанов, Сборн. Некоторые проблемы прочности твердого тела, Изд. АН СССР, 1959. [5] С. Н. Журков, Э. Е. Томашевский, Там же. [6] J. Handin et al., Bull. Geol. Soc. Am., 68, 1203 (1957).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Н. С. ФАСТОВ

О ДЕФОРМАЦИИ, РАЗВИВШЕЙСЯ В ТЕЛЕ НА СТАЦИОНАРНОЙ СТАДИИ ПОЛЗУЧЕСТИ, И ПЕРЕХОДЕ МИКРОПОЛЗУЧЕСТИ В МАКРОПОЛЗУЧЕСТЬ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕРМОДИНАМИКИ НЕОБРАТИМЫХ ПРОЦЕССОВ

(Представлено академиком Г. В. Курдюмовым 27 X 1960)

Ползучесть и разрушения являются необратимыми процессами, и при их феноменологическом описании следует применять методы термодинамики необратимых процессов.

Термодинамически неравновесное состояние тела, подверженного нагрузке, при постоянной температуре описывается следующими независимыми параметрами состояния: тензором деформации ε_{ik}, являющимся внешним параметром, и совокупностью внутренних параметров состояния, характеризующих степень неравновесности тела,— тензоров релаксации ψ_{ik}^{α} ($\alpha = 1, 2, \ldots, N$) ([1-3]). Если тело деформируется без пластических сдвигов (и, следовательно, без изменения макроструктуры), то при достаточно малых напряжениях связь между напряжением, деформацией и параметрами $\psi_{ik}^{(\alpha)}$ линейна.

При достаточно высокой температуре в условиях ползучести релаксацией давления (всестороннего сжатия) можно пренебречь по сравнению с релаксацией напряжений сдвига. В этом случае для тензора напряжений σ_{ik} имеем ([2,3]).

$$\sigma_{ik} = K\varepsilon_{ll}\delta_{ik} + 2\sum_{\alpha=1}^{N} \lambda_\alpha \left[(\varepsilon_{ik} - {}^1/_3\varepsilon_{ll}\delta_{ik}) - \psi_{ik}^{(\alpha)}\right], \qquad (1)$$

где K — модуль всестороннего сжатия; λ_α — положительные постоянные, удовлетворяющие условию $\sum_\alpha \lambda_\alpha = \mu$; μ — модуль сдвига; δ_{ik} — единичный тензор, $\psi_{ll}^{(\alpha)} = 0$.

Уравнение (1) можно представить в виде

$$\sigma_{ik} = K\varepsilon_{ll}\delta_{ik} + 2\mu \left[(\varepsilon_{ik} - {}^1/_3\varepsilon_{ll}\delta_{ik}) - \xi_{ik}\right], \qquad (2)$$

где ξ_{ik} — тензор остаточной деформации (деформации, появившейся в теле после устранения внешних сил)

$$\xi_{ik} = \frac{1}{\mu}\sum_{\alpha=1}^{N} \lambda_\alpha \psi_{ik}^{(\alpha)}. \qquad (3)$$

Уравнение (1) с учетом кинетических соотношений

$$\dot{\psi}_{ik}^{(\alpha)} = \frac{1}{\tau_\alpha}\left(\varepsilon_{ik} - \frac{1}{3}\varepsilon_{ll}\delta_{ik} - \psi_{ik}^{(\alpha)}\right),$$

где τ_α — время релаксации, приводит к уравнению типа Больцмана — Вольтерра

$$\sigma_{ik} = K\varepsilon_{ll}\delta_{ik} + 2\int_{-\infty}^{t}\sum_{\alpha=1}^{N} \lambda_\alpha e^{(t'-t)/\tau_\alpha}\left[\dot{\varepsilon}_{ik}(t') - {}^1/_3\dot{\varepsilon}_{ll}(t')\,\delta_{ik}\right]dt'. \qquad (4)$$

Соотношение (4) является обобщением уравнения вязкого течения. В линейном приближении это самое общее уравнение, удовлетворяющее второму принципу термодинамики ([2]).

Напряжения в твердом теле всегда неоднородны. Если тело разделить на макроскопически малые участки, в каждом из которых напряжения и деформации однородны, то одни участки будут упруго деформированными (т. е. деформируются без пластических сдвигов и существенных изменений структуры), в других участках произошли акты пластических сдвигов (пластически деформированные участки). Ползучесть упруго деформированных участков осуществляется путем вязкого течения (самодиффузии), ползучесть остальных участков — как путем скольжения, так и путем вязкого течения.

В процессе ползучести из-за развития структурных неоднородностей (трещин, скопления вакансий, мозаичной структуры и т. д.) происходит перераспределение напряжений между отдельными участками тела, а также изменение числа упруго деформированных участков ([3]). С течением времени некоторые из упруго деформированных участков становятся пластически деформированными, а в некоторых из пластически деформированных происходит «залечивание» дефектов структуры, в результате чего эти участки в последующем деформируются упруго, т. е. без скольжения.

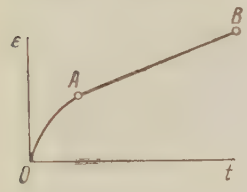


Рис. 1

На нестационарной стадии ползучести средние напряжение, деформация и скорость деформации упруго деформированных участков (усреднение производится по всем упруго деформированным участкам с учетом размеров последних) отличаются от напряжения, деформации и скорости деформации тела как целого. На стационарной стадии ползучести общий объем упруго деформированных участков и их распределение по размерам остаются постоянными, а средняя скорость ползучести этих участков постоянна и равна скорости ползучести образца как целого.

В самом деле, если бы средняя скорость ползучести упруго деформированных участков не была бы равна скорости ползучести образца (а также средней скорости пластически деформированных участков), то эти участки скользили бы относительно друг друга, что привело бы к изменению их размеров, перераспределению напряжений (в среднем) и дополнительному образованию дефектов структуры.

Рассмотрим ползучесть тела под влиянием постоянного растягивающего напряжения $\sigma = \sigma_{xx}$ (растягивающие внешние силы направлены по оси x). Обозначим среднее напряжение σ_{xx}, среднюю деформацию ε_{xx} и среднюю остаточную деформацию ξ_{xx} упруго деформированных участков через $\bar{\sigma}_{\text{упр}}$, $\bar{\varepsilon}_{\text{упр}}$ и $\bar{\xi}_{\text{упр}}$. Тогда, усредняя (2), получим

$$\bar{\sigma}_{\text{упр}} = E\,(\bar{\varepsilon}_{\text{упр}} - \bar{\xi}_{\text{упр}}), \tag{5}$$

где E — модуль Юнга.

Отметим, что средние значения деформации $\bar{\varepsilon}_{\text{упр}}$, напряжения $\bar{\sigma}_{\text{упр}}$ и остаточной деформации $\bar{\xi}_{\text{упр}}$ упруго деформированных участков не равны средним значениям деформации, напряжения и остаточной деформации образца как целого.

Согласно термодинамическому способу описания любое состояние упруго деформированного тела характеризуется заданием тензора деформации ε_{ik} и тензоров релаксации $\psi_{ik}^{(\alpha)}$, а при неоднородной упругой деформации — средними значениями этих величин ([1,2]). В частности, любая точка на кривой ползучести (рис. 1), например точка O (соответствующая началу ползучести), точка A (соответствующая переходу нестационарной стадии в стацио-

нарную) характеризуются некоторыми значениями параметров, определяющих термодинамическое состояние упруго напряженных участков. Разумеется, эти точки на кривой ползучести характеризуются также определенными значениями параметров, определяющих термодинамическое состояние пластически деформированных участков или тела как целого. Однако благодаря взаимодействию упруго и пластически деформированных участков, термодинамическое состояние тела как целого определяется термодинамическим состоянием отдельных его участков, например упруго деформированных.

Пусть в точке B на рис. 1 $\bar{\varepsilon}_{\text{упр}} = \bar{\varepsilon}_1$, $\xi_{\text{упр}} = \xi_1$, где величины ε_1 и ξ_1 — функции среднего напряжения упруго деформированных участков. Отсюда следует, что ε_1 является некоторой функцией ξ_1, т. е.

$$\varepsilon_1 = f_1(\xi_1) = \varphi_1(\bar{\sigma}_{\text{упр}}). \tag{6}$$

Аналогично средняя деформация точки A на рис. 1 ε_2 является некоторой функцией средней остаточной деформации этой точки, т. е.

$$\varepsilon_2 = f_2(\xi_2). \tag{7}$$

Схематически соотношения (6) и (7) представлены на рис. 2.

Кроме соотношений (6), (7), параметры $\bar{\varepsilon}_{\text{упр}}$ и $\bar{\xi}_{\text{упр}}$ удовлетворяют уравнению (5), где $\bar{\sigma}_{\text{упр}}$ на несколько порядков меньше теоретического значения напряжения разрушения $\sigma_p \approx 0{,}1\,E$. Это следует из того, что скорость ползучести упруго деформированных участков $\dot{\bar{\varepsilon}}_{\text{упр}}$ пропорциональна напряжению этих участков ([2]), которое не может превышать σ_p.

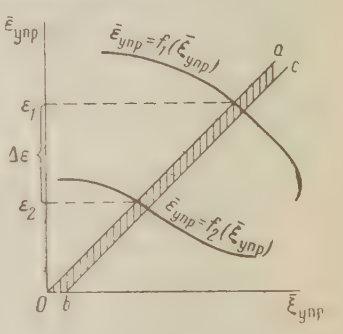


Рис. 2

На стационарном участке ползучести $\dot{\bar{\varepsilon}}_{\text{упр}}$ равна скорости ползучести образца как целого $\dot{\varepsilon}$. Однако $\dot{\varepsilon}$ при изменении внешних сил может измениться на несколько порядков. Следовательно, $\dot{\bar{\varepsilon}}_{\text{упр}}$ и $\bar{\sigma}_{\text{упр}}$ могут измениться на несколько порядков. Это может быть только в том случае, если $\bar{\sigma}_{\text{упр}}$ на несколько порядков меньше $\sigma_p \approx 0{,}1\,E$.

Обычно деформация, развившаяся в образце на стационарном участке ползучести $\Delta\varepsilon$, не меньше нескольких процентов, т. е. сравнима с величиной σ_p/E или значительно больше ее. С другой стороны, в (5) $\bar{\sigma}_{\text{упр}}/E$ мало по сравнению с σ_p/E или с $\Delta\varepsilon$ (равной $\Delta\bar{\varepsilon}_{\text{упр}}$).

На рис. 2 удовлетворяющие уравнения (5) $\bar{\varepsilon}_{\text{упр}}$ и $\bar{\xi}_{\text{упр}}$ изображаются системой прямых параллельных линий (соответствующих различным $\bar{\sigma}_{\text{упр}}$), заключенных в заштрихованной полосе, ограниченной прямыми Oa и bc. Так как ширина полосы (Ob равно $\bar{\sigma}_{\text{упр}}/E$) при любых нагрузках значительно меньше $O\varepsilon_2$ и $\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = \Delta\varepsilon$, то $O\varepsilon_2/E$ и $\Delta\varepsilon = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$ практически не зависят от напряжения $\sigma_{\text{упр}}$ и, следовательно, от среднего напряжения образца σ.

Полученный результат можно сформулировать следующим образом. Если деформация, накопленная в теле на стационарном участке ползучести, не очень мала (не меньше нескольких процентов), то эта деформация не зависит от приложенной нагрузки.

Этот вывод является чисто термодинамическим, т. е. не связан с выбором какой-либо модели. Поэтому указанное соотношение для деформации на стационарной стадии ползучести должно быть справедливым для всех тел.

Согласно исследованиям С. Н. Журкова, для широкого класса тел (металлов, полимеров, ионных кристаллов) имеет место соотношение [4]

$$\dot{\varepsilon}_{ст}\,\tau = \text{const}, \qquad (8)$$

где $\dot{\varepsilon}_{ст}$ — стационарная скорость ползучести, τ — долговечность образца, что при пренебрежении нестационарной стадией ползучести, совпадает с полученным здесь результатом.

Соотношения (5) и (7) можно также применить к явлению микроползучести, заключающемуся в том, что при достаточно малых напряжениях скорость ползучести пропорциональна первой степени напряжений. При достижении определенной величины деформации ε_0 микроползучесть переходит в обычную ползучесть (или макроползучесть, где стационарная скорость экспоненциально возрастает с напряжением).

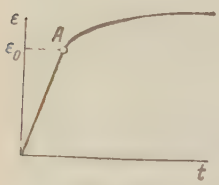


Рис. 3

На кривой ползучести, схематически изображенной на рис. 3, точка A соответствует переходу микроползучести в макроползучесть [5]. Так как скорость микроползучести пропорциональна наряжению, то при микроползучести пластическими сдвигами можно пренебречь и считать, что все участки тела упруго напряжены [2]. Поэтому деформация и остаточная деформация тела, развившаяся в процессе микроползучести, являются деформацией и остаточной деформацией упруго напряженных участков. Кроме того σ/E (т. е. гуковская деформация) значительно меньше наблюдаемой деформации ползучести.

Отсюда следует, что деформация, развившаяся в теле в процессе микроползучести, не зависит от приложенной нагрузки. Этот вывод подтвержден Чалмерсом на монокристаллах олова [5].

Институт металловедения и физики металлов
Центрального научно-исследовательского
института черной металлургии
им. И. П. Бардина

Поступило
24 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. Н. Финкельштейн, Н. С. Фастов, ДАН, **71**, 875 (1950). [2] Н. С. Фастов, Проблемы металловед. и физ. мет., в. V, 1958 стр. 550. [3] Н. С. Фастов, ДАН, **130**, 64 (1960). [4] С. Н. Журков, Т. П. Сапфирова, ЖТФ, 28, 1719 (1958). [5] B. Chalmers, Proc. Roy. Soc., A, **156**, 427 (1936).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОФИЗИКА

Г. С. ИВАНОВ-ХОЛОДНЫЙ

ИОНИЗАЦИЯ В ЗЕМНОЙ ИОНОСФЕРЕ И ЭНЕРГИЯ КОРОТКОВОЛНОВОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА

(Представлено академиком Е. К. Федоровым 10 XI 1960)

Одним из замечательных научных достижений, которых удалось добиться при запусках искусственных спутников Земли и ракет, является непосредственное получение новых данных о физических свойствах верхней атмосферы. Совершенно новые представления об ионном составе верхних слоев были получены с помощью масс-спектрометрических исследований В. Г. Истоминым ([1-4]). Особенно удивительным в этих результатах является установление присутствия большого количества различных молекулярных ионов на всех высотах вплоть до 500 км, где по ряду оценок все молекулярные составляющие атмосферы, кроме N_2, должны быть нацело диссоциированы. В работах А. Д. Данилова ([5,6]) было показано, что казавшееся необычным распределение молекулярных ионов NO^+ и O_2^+ с высотой естественно объясняется с помощью циклов реакций:

$$\left.\begin{array}{l} O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N, \\ NO^+ + e \rightarrow N + O; \end{array}\right| \qquad \left.\begin{array}{l} O^+ + O \rightarrow O_2^+ + h\nu \\ O_2^+ + e \rightarrow O' + O'' \end{array}\right| \qquad (1)$$

Реакции типа (1) объясняют относительные концентрации атомарных и молекулярных ионов на всех рассматривавшихся высотах 100–500 км.

Наиболее интересным следствием циклов реакций (1) является то, что для ионосферы утверждаются весьма интенсивные процессы: для исчезновения атомарных ионов — перезарядка с образованием молекулярных ионов и для нейтрализации ионов — диссоциативная рекомбинация.

В соответствии с этим должны быть также полностью изменены наши представления об источниках ионизации в верхней атмосфере.

Действительно, скорость реакции диссоциативной рекомбинации ($\alpha^* = 10^{-6} - 10^{-7}$ см^3 сек$^{-1}$) на 5—6 порядков больше скорости нейтрализации атомарных ионов, поэтому основным каналом нейтрализации частиц в ионосфере является перекачка атомарных ионов в молекулярные и последующая нейтрализация молекулярных ионов. Эффективная скорость рекомбинаций будет определяться в основном последним механизмом, скорость которого на 2—3 порядка превосходит существующие в настоящее время оценки скоростей рекомбинаций в ионосфере, полученные на основании радиоизмерений и данных наблюдений во время солнечных затмений.

Рассчитаем суммарное число рекомбинаций в столбе ионосферы сечением 1 см^2. Скорость исчезновения электронов на любой высоте h равна

$$\frac{dn_e}{dt} = \alpha^* n_e n_2^+ + \alpha_1 n_e n_1^+, \qquad (2)$$

где n_2^+, n_1^+ и n_e — концентрации молекулярных и атомарных ионов и электронов соответственно; α^* и α_1 — коэффициенты диссоциативной рекомбинации и рекомбинации атомарных ионов соответственно.

Концентрация электронов на высотах свыше 80 км измерялась на ракетах К. И. Грингаузом ([7]), Седдоном и Джексоном ([10-15]) и с помощью совет-

ских искусственных спутников ([16–19]). В табл. 1 дано изменение n_e с высотой для дневной ионосферы, полученное на основании этих измерений.

Доля положительных молекулярных ионов в ионосфере была оценена согласно работам В. Г. Истомина ([1–4]), Джонсона и др. ([20,21]). Для высот 400—700 км мы привлекли также данные о ходе с высотой концентрации N_2^+, полученные Ризом ([22]) по свечению полярных сияний, освещенных Солнцем, для которых, очевидно, ход N_2^+ с высотой не должен сильно отличаться от обычных условий.

Таблица 1

h, км	100	150	200	250	300	400	500	600	700
n_e, см$^{-3}$	$1\cdot10^5$	$2\cdot10^5$	$5\cdot10^5$	$1\cdot10^6$	$1{,}5\cdot10^6$	$1{,}2\cdot10^6$	$1\cdot10^6$	$6\cdot10^5$	$4\cdot10^5$
$\frac{n_2^+}{n_1^+ + n_2^+}$	1	0,9	0,6	0,18	$7\cdot10^{-2}$	$7{,}6\cdot10^{-3}$	$2\cdot10^{-3}$	$6{,}5\cdot10^{-4}$	$3\cdot10^{-4}$
$\alpha^* n_e n_2^+$, см$^{-3}$ сек$^{-1}$ *	$1\cdot10^4$	$3{,}5\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^5$	$1{,}8\cdot10^5$	$1{,}57\cdot10^5$	$1{,}1\cdot10^4$	$2\cdot10^3$	$2{,}3\cdot10^2$	50

* При предположении $\alpha^* = 10^{-8}$ см^3 сек$^{-1}$.

Согласно масс-спектрометрическим измерениям, концентрация отрицательных ионов пренебрежимо мала по сравнению с концентрацией положительных ионов, поэтому $n_1^+ + n_2^+ = n_e$. Исходя из данных табл. 1 и из того, что α^* на 5—6 порядков превосходит α_1, легко видеть, что рекомбинации в уравнении (2) определяются на всех рассматриваемых высотах первым членом, т. е. диссоциативной рекомбинацией молекулярных ионов; поэтому

$$\frac{dn_e}{dt} = \alpha^* n_e n_2^+ = \alpha^* \frac{n_2^+}{n_1^+ + n_2^+} n_e^2. \qquad (3)$$

В последней строке табл. 1 приведено число рекомбинаций, происходящих за 1 сек. в 1 см^3 на разных высотах. Из этих данных следует, что в столбе ионосферы сечением в 1 см^2 происходит в целом $3\cdot10^{11}$—$3\cdot10^{12}$ актов нейтрализации. Эта оценка на 2—3 порядка превосходит ранее производившиеся оценки (см., например, ([23])).

Таким образом, интерпретация новых данных о ионном составе, полученных с помощью ракет и спутников, указывает на существование в ионосфере значительно более интенсивных процессов рекомбинаций, а следовательно и процессов ионизаций, чем считалось ранее. По существу эти данные указывают на кризис наших представлений об ионосфере и источниках ее образования. Достаточно указать, что для поддержания наблюдающейся степени ионизации в ионосфере необходим значительно более мощный поток ионизующего излучения (10—100 эрг/см^2 сек), чем это считалось до сих пор ($<$1 эрг/см^2 сек ([24])). В связи с этим рассмотрим новые данные о коротковолновом излучении Солнца.

В 1958 и 1959 гг. Вайолеттом и Ренсе ([25]) были получены спектры коротковолнового излучения Солнца от 1200 до 83,9 Å. В этой области спектра обнаружено свыше 150 линий излучения, наиболее яркая из которых He II λ 304 Å сравнима по интенсивности с линией $L\alpha$. Если учесть, что интенсивность $L\alpha$, согласно последним измерениям на ракетах с помощью различных приемников излучения, составляет 1 — 10 эрг/см^2 сек у Земли ([26]), то очевидно, что новая величина интенсивности линейчатого излучения Солнца с длиной волны короче 800 Å (способного ионизовать любую молекулу или атом атмосферы) значительно больше прежних косвенных оценок ([23,24]). В целом линии с $\lambda \leqslant 800$, как можно видеть из спектра ([25]), несут поток излучения по меньшей мере в 20 раз больший, чем в линии λ 304 Å.

Интенсивность линии λ 304 Å недавно для одного из ракетных экспериментов была оценена Ризом и Ренсе ([27]). Принимая, что интенсивность линии $L\alpha$ равна 3 эрг/см^{2}сек, они для линии λ 304 Å получили интенсивность

5 эрг/см²сек у Земли. Однако авторы ([27]) использовали недостоверные све-
ения о плотности атмосферы, основанные на некоторой неточной модели,
завышенные значения для эффективного сечения поглощения. В резуль-
ате ими было получено, что атмосфера над уровнем 200 км при зенитном
гле Солнца $z_\odot = 79{,}5°$ ослабляет интенсивность λ 304 Å в 18 раз! Произ-
едем оценку интенсивности λ 304 Å заново. Если I_0 — интенсивность за

ределами атмосферы, то на высоте $hI\,(h_0) = I_0 e^{-\tau(h)}$, где $\tau(h) = k \sec z_\odot \int_0^\infty n\,dh$ —
птическая толщина атмосферы; k — коэффициент поглощения атмо-
феры; $\int_h^\infty n\,dh \equiv N$ — число поглощающих частиц в столбе атмосферы
ечением 1 см² над уровнем h. Написав уравнение (3) для двух высот h_1
h_2, путем несложных преобразований можно получить, не делая никаких
редположений о природе поглощающего газа в атмосфере, что

$$\lg I_0 = \frac{N_1 \lg I_2 - N_2 \lg I_1}{N_1 - N_2}. \qquad (4)$$

Вайолетт и Ренсе ([25]) сообщают о двух экспериментах, в которых линия
304 Å измерялась на двух высотах. Применяя уравнение (4) к этим данным
используя новые (экспериментальные, а не основанные на теоретической
одели) данные о плотности атмосферы на высотах 150—200 км ([28, 29]),
ожно легко получить согласно обоим экспериментам (см. ([30])), что $I_0 =$
= 1,2 эрг/см²сек (в предположении, что интенсивность $L\alpha$ равна
эрг/см²сек). Согласие результатов, полученных в двух разных экспери-
ентах, очень хорошее. Однако при этом для одного из экспериментов
март 1959 г.) эффективное сечение поглощения линии λ 304 Å атмосферой
олучилось равным $1—1{,}5 \cdot 10^{-17}$ см, что хорошо согласуется с современными
анными, но согласно другому эксперименту (июнь 1958 г.)—в 4,3 раза мень-
ше. Основным источником этого чрезвычайно сильного расхождения яв-
яется ошибка авторов ([27]) в оценке нижней высоты h_2 для этого эксперимен-
а. Как указано в ([27]), для h_2 была взята средняя высота ракеты за время
кспозиции. Однако при резком изменении скорости движения ракеты на
тих высотах, а также при резком изменении интенсивности линии из-за
оглощения в атмосфере использование средних значений дает очень боль-
шую ошибку. За время экспозиции 40 сек. ([25]) ракета пройдет от высоты
65 км до высоты 115 км. При этом интенсивность линии λ 304 Å при $z_\odot =$
= 79,5° должна была измениться примерно от 0.05 до $\sim 10^{-10}$ эрг/см²сек.
Очевидно, что эффективная высота регистрации линии излучения на пла-
тинке будет соответствовать положению ракеты где-то в начале экспози-
ции. Можно показать, что главную долю почернения на фотопластинке
дают первые несколько секунд экспозиции, пока ракета находится еще до-
таточно высоко. Поэтому оценка высоты в ([27]) является сильно заниженной. Учет этих поправок может несколько повлиять на наше вычисление I_0
для июньского эксперимента 1958 г. Однако это влияние не может быть
значительным, поскольку поглощение на высоте $h = 212$ км мало. Из урав-
ения (4) следует, если учесть новые данные о плотности атмосферы ([28, 29]),
то на высоте 212 км $I/I_0 = 1{,}5$.

Абсолютная калибровка ракетных измерений интенсивности коротко-
олнового излучения Солнца представляет чрезвычайно трудную проблему,
поэтому результаты таких измерений нуждаются в тщательной проверке.
Одним из наиболее надежных способов проверок является сопоставление
анных солнечного ультрафиолетового излучения, исходящего из короны
переходного слоя между короной и фотосферой, с данными об излучении
в других областях спектра. Для этого, однако, необходимо иметь точные
знания о структуре и физических условиях в переходном слое. В работе
([30]) была построена модель, основанная на сочетании ракетных данных об
ультрафиолетовом излучении и данных о радиоизлучении Солнца. Эта мо-

дель переходного слоя весьма чувствительна к использованной величине интенсивности коротковолнового излучения; она подтверждает правильность произведенной выше оценки интенсивности линии λ 304 Å.

Резюмируя, можно сказать, что интенсивность всего солнечного ультрафиолетового излучения за пределами земной атмосферы составляет ~30 эрг/см²сек, или, как показывает суммирование всех линий излучения на основании данных об энергетической калибровке, приведенной в ([30]), составляет $5—10 \cdot 10^{11}$ квантов/см²сек.

Сопоставляя эти данные об энергии солнечного коротковолнового излучения с указанными выше данными о скорости процессов ионизаций и рекомбинаций в ионосфере, видим, что они прекрасно согласуются между собой. Тем самым последние данные об ультрафиолетовом излучении Солнца подтверждают новые представления об основных элементарных процессах в ионосфере. Действительно, излучение Солнца способно обеспечить ту скорость ионизации, которая была оценена в первой части статьи. Новые представления об основных процессах в ионосфере позволяют объяснить ряд явлений, происходящих в верхней атмосфере, связанных с источниками выделения больших количеств энергии и интенсивными процессами рекомбинаций: нагрев ионосферы и потеря слоем F большого количества тепла за счет теплопроводности, состояние ночной ионосферы и во время затмений Солнца и другие вопросы, которым будут посвящены отдельные статьи.

Основные выводы. Основным процессом нейтрализации в ионосфере является диссоциативная рекомбинация молекулярных ионов, атомарные ионы переходят в молекулярные в результате процессов перезарядки. Общее число процессов рекомбинаций и ионизаций в столбе атмосферы сечением 1 см² равно $3 \cdot 10^{11}—3 \cdot 10^{12}$ см$^{-2}$ сек$^{-1}$.

Новые представления об основных процессах в ионосфере согласуются с новыми данными о коротковолновом излучении Солнца, в котором для области спектра $\lambda \leqslant 800$ Å содержится $5—10 \cdot 10^{11}$ квантов/см²сек.

Институт прикладной геофизики
Академии наук СССР

Поступило
20 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. Г. Истомин, Сборн. Искусственные спутники Земли, в. 2, 1958, стр. 32. [2] В. Г. Истомин, ДАН, **129**, 81 (1959). [3] В. Г. Истомин, Сборн. Искусственные спутники Земли, в. 4, 1960, стр. 171; X International Astronautical Congress, London, 1959, Wien, 1960, p. 756. [4] В. Г. Истомин, Сборн. Искусственные спутники Земли, в. 6, 1960, стр. 127. [5] А. Д. Данилов, там же, в. 5, 1960, стр. 60. [6] А. Д. Данилов, там же, в. 7, 1960, стр. 56. [7] К. И. Грингауз, ДАН, **120**, 1234 (1958). [8] J. C. Seddon, J. Geophys. Res., **58**, 323 (1953). [9] J. E. Jackson, ibid., **59**, 377 (1954). [10] J. C. Seddon, A. D. Pickar, J. E. Jackson, ibid., **59**, 463 (1954). [11] J. C. Seddon, J. E. Jackson, Experimental Results of the US Rocket Program for the IGY to 1 July 1958, N. Y., 1958, p. 140. [12] J. C. Seddon, J. E. Jackson, Ann. géophys., **14**, 456 (1958). [13] J. E. Jackson, J. C. Seddon, J. Geophys. Res., **63**, 197 (1958). [14] J. E. Jackson, J. A. Kane, idid., **64**, 1074 (1959). [15] J. E. Jackson, J. A. Kane, ibid., **65**, 2209 (1960). [16] Я. Л. Альперт, Э. Ф. Чудесенко, Б. С. Шапиро, Сборн. Предварительные итоги научных исследований с помощью первых советских искусственных спутников Земли и ракет, в. 1, 1958, стр. 40. [17] Я. Л. Альперт, Природа, № 9, 86 (1958). [18] L. Klinker, R. Knuth, K. H. Schmelowsky, Zs. f. Meteorologie, **13**, 192 (1959). [19] J. W. Townsend, Phys. and Med. Atm. and Space, N. Y.— London, 1960, p. 126. [20] C. Y. Johnson, E. B. Meadows, J. C. Holmes, J. Geophys. Res., **63**, 433 (1958). [21] J. W. Townsend jr., C. Y. Johnson et al., Experimental Results of the US Rocket Program for IGY to 1 July 1958, N. Y., 1958, p. 131. [22] M. H. Rees, J. Atm. Terr. Phys., **14**, 338 (1959). [23] Я. Л. Альперт, В. Л. Гинзбург, Е. Л. Фейнберг, Распространение радиоволн, М., 1953, стр. 659. [24] И. С. Шкловский, Э. В. Кононович, Астр. журн., **35**, 37 (1958). [25] T. Violett, W. A. Rense, Astrophys. J. **130**, 954 (1959). [26] E. T. Byram, T. A. Chubb et al., Astrophys. J., **128**, 738 (1958). [27] M. H. Rees, W. A. Rense, J. Geophys. Res., **64**, 1251 (1959). [27] В. В. Михневич, Б. С. Данилин и др., Сборн. Искусственные спутники Земли, в. 3, 1959, стр. 84. [29] K. W. Champion, R. A. Minzner, Planet. Space Sci., **1**, 259 (1959). [30] Г. С. Иванов-Холодный, Г. М. Никольский, Астр. журн., **39**, 65 (1961).

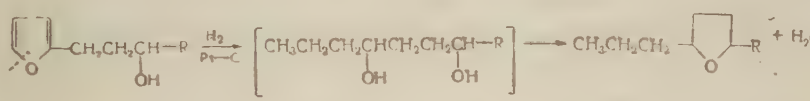
Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ХИМИЯ

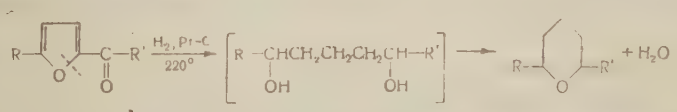
И. Ф. БЕЛЬСКИЙ и член-корреспондент АН СССР Н. И. ШУЙКИН

ПРЕВРАЩЕНИЕ АМИНОВ ФУРАНОВОГО РЯДА В ГОМОЛОГИ ПИРРОЛИДИНА

Гидрогенолиз фуранового цикла в общем случае приводит к соединениям алифатического ряда, причем эфирный кислород цикла образует карбонильную или гидроксильную группы. В случае 2-алкил- или 2,5-диалкилфуранов продуктами гидрогенолиза кольца в зависимости от условий являются алифатические спирты или кетоны. Новые возможности протекания реакции открываются в случае гидрирования фурановых соединений, содержащих в боковой цепи в α-положении функциональные группы, способные в определенных условиях к внутримолекулярному взаимодействию с карбонильной или гидроксильной группами, образующимися в результате гидрогенолиза фуранового цикла. Такой функциональной группой является, например, гидроксильная группа, находящаяся в положении 3 по отношению к фурановому кольцу. Гидрогенолиз фурановых соединений такого строения, именно 1-фурилалканолов-3, был нами исследован ранее ([1]). При этом показано, что в условиях гидрирования в проточной системе на платиновом катализаторе первичные продукты гидрогенолиза фуранового кольца — алкандиолы-1,4 в результате внутримолекулярного отщепления воды превращаются в тетрагидрофураны



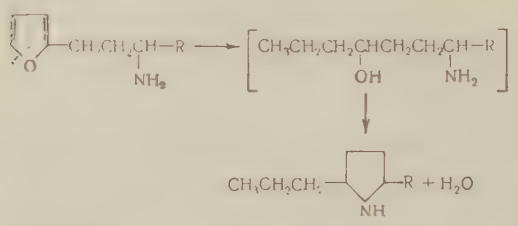
Другой аналогичный случай представляют 2-алкил-5-ацилфураны. Здесь, однако, нужно иметь в виду два возможных направления протекания реакции, связанные с тем обстоятельством, что первичной реакцией при гидрировании может быть или восстановление карбонильной группы в группу CH_2 ([2]), или гидрогенолиз фуранового цикла. Гидрогенолиз фуранового цикла до восстановления карбонильной группы можно осуществить на платиновом катализаторе ([3]). В этом последнем случае гидрогенолиз 2-алкил-5-ацилфуранов дает в качестве первичных продуктов 1,5-дикетоны и 1,5-диолы, которые в условиях гидрирования в паровой фазе циклизуются с выделением воды в шестичленные карбоциклические соединения и тетрагидропираны ([4])



Оба рассмотренных случая содержат общую идею, которую можно выразить следующим образом: если в боковой цепи фуранового соединения содержатся функциональные группы, способные взаимодействовать с гидроксилом или карбонилом, возникающими при гидрогенолизе фуранового ядра, и если образующиеся в результате гидрогенолиза кольца бифункциональные алифатические соединения относятся к γ- или δ-ряду, то гидрирование таких фурановых соединений в определенных условиях приводит к образованию новых пяти- или шестичленных гетероциклов.

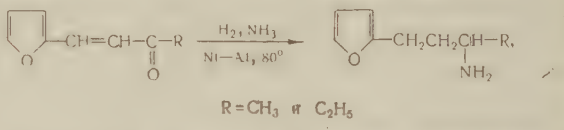
Эта общая идея сразу же предсказывает возможность осуществления новых интересных синтезов. Действительно, функциональной группой, спо-

собной к взаимодействию с гидроксилом или карбонилом, может быть аминогруппа, и поэтому можно ожидать, что амины фуранового ряда, имеющие NH_2-группу в положении 3 по отношению к фурановому ядру, в условиях гидрирования будут превращаться в пятичленные азотсодержащие гетероциклические соединения — пирролы или пирролидины, т. е. будет иметь место следующая реакция:



Проведенные нами опыты полностью подтвердили наши предположения Мы синтезировали два амина фуранового ряда 1-фурил-3-аминобутан и 1-фурил-3-аминопентан и подвергли их гидрированию в проточной системе на платинированном угле. В результате реакции образовались 2-метил-5-*н*-пропилпирролидин и 2-этил-5-*н*-пропилпирролидин с выходами 70—80%.

Синтез 1-фурил-3-аминоалканов. 1-Фурил-3-аминобутан и 1-фурил-3-аминопентан были получены путем восстановительного аминирования соответствующих фурфурилиденкетонов в жидкой фазе на скелетном Ni-Al-катализаторе.



Примененная нами методика восстановительного аминирования фурфурилиденкетонов была аналогична той, которая использовалась при аминировании фурфурола ([5]). Полученные с выходами 70—75% 1-фурил-3-аминоалканы перегонялись при пониженном давлении:

1. 1-Фурил-3-аминобутан, т. кип. 94—96° (25): n_D^{20} 1,4760; d_4^{20} 0,9664.
2. 1-Фурил-3-аминопентан, т. кип. 98—99° (17); n_D^{20} 1,4786; d_4^{20} 0,9586.

Превращение 1-фурил-3-аминоалканов в 2-*н*-пропил-5-алкилпирролидины. 1-Фурил-3-аминоалканы подвергались гидрированию в системе проточного типа над платиной, отложенной на угле, с объемной скоростью 0,1 час$^{-1}$. Температура, измеряемая внутри слоя катализатора, поддерживалась в интервале 200—210°. Катализатор готовился следующим образом: активированный уголь пропитывался раствором платинохлористоводородной кислоты, помещался в реакционную трубку, после чего платинохлористоводородная кислота восстанавливалась водородом в течение 13 час. при температуре, постепенно повышающейся от 250 до 320°. Полученные катализаты насыщались едким кали, отделялись от воды, высушивались прокаленным КОН и перегонялись на эффективной колонке. Выделенные пирролидины затем вторично перегонялись над натрием из колбы с дефлегматором. После этого они обладали следующими свойствами:

2-Метил-5-*н*-пропилпирролидин, т. кип. 153—155° (755); n_D^{20} 1,4413; d_4^{20} 0,8329. MR_D найдено 40,36, $C_8H_{17}N$. MR_D вычислено 40,55.

2-Этил-5-*н*-пропилпирролидин, т. кип. 175—177° (760); n_D^{20} 1,4463; d_4^{20} 0,8388. MR_D найдено 44,93, $C_9H_{19}N$. MR_D вычислено 45,16.

Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского
Академии наук СССР

Поступило
14 XII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. Ф. Бельский, Н. И. Шуйкин, ДАН, **128**, 945 (1959). [2] Н. И. Шуйкин, И. Ф. Бельский, ДАН, **131**, 109 (1960). [3] Н. И. Шуйкин, И. Ф. Бельский, ДАН, **127**, 359 (1959). [4] И. Ф. Бельский, Н. И. Шуйкин, Г. К. Василевская, ДАН, **136**, № 3 (1961). [5] C. F. Winans, J. Am. Chem. Soc., **61**, 3566 (1939).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ХИМИЯ

Ю. А. ЖДАНОВ и Г. А. КОРОЛЬЧЕНКО

НИТРОЭФИРЫ С-ЗАМЕЩЕННЫХ УГЛЕВОДОВ

(Представлено академиком А. И. Опариным 14 XII 1960)

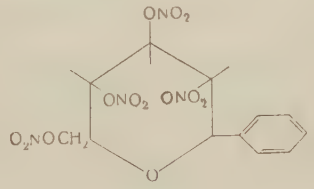
Как известно, нитроэфиры полиоксисоединений интересны тем, что некоторые из них оказывают сосудорасширяющее действие. Так например, весьма ценным лекарственным веществом является динитрат дианигидросорбита, применяющийся при лечении гипертонии, стенокардии и других заболеваний сердечно-сосудистой системы. В этой связи нами был синтезирован ряд нитроэфиров углеродзамещенных углеводов, которые по своему химическому строению являются ангидридами замещенных полиспиртов.

Среди различных методов синтеза нитроэфиров полиоксисоединений в нашем случае наиболее удобной оказалась реакция с концентрированной азотной кислотой в уксусном ангидриде. Ранее этот способ был предложен для сахаров ([1-4]). Нами синтезированы нитроэфиры глюкопиранозил-, галактопиранозил-, рамнопиранозил-, ксилопиранозил- и арабопиранозилбензола. Последнее соединение впервые получено нами из соответствующего ацетильного производного.

Полученные нами нитроэфиры С-замещенных углеводов в большинстве своем — белоснежные кристаллические вещества, растворимые в эфире, бензоле, низших спиртах, ацетоне, хлороформе, этилацетате, нерастворимые в воде, петролейном эфире. Они имеют склонность сгорать со вспышкой.

Экспериментальная часть

Тетранитро-глюкопиранозилбензол. К раствору 3 г (0,125 моля) глюкопиранозилбензола в 20 мл уксусного ангидрида добавлялся при наружном охлаждении льдом раствор 6 мл дымящей азотной кислоты в 10 мл уксусного ангидрида. Смесь оставлялась стоять при комнатной температуре в течение 15 мин., а затем выливалась в ледяную воду и нейтрализовывалась поташом. Получено 4,2 г сырого продукта. Вещество очищено обработкой эфирного раствора безводным сульфатом натрия и активированным углем. После отгонки эфира выделено 2,14 г (41% от теории) белоснежного кристаллического продукта с т. пл. 102—104°. Вещество описывается впервые. Его строение представляется формулой



Найдено %: N 13,13; 13,00
$C_{12}H_{12}O_{13}N_4$. Вычислено %: N 13,33

Тетранитро-галактопиранозилбензол. К раствору 1,3 г (0,054 моля) описанного ранее галактопиранозилбензола ([5]) в 10 мл уксусного ангидрида добавлялся при охлаждении раствор 3 мл дымящей

азотной кислоты в 6 мл уксусного ангидрида. Дальнейшая обработка велась указанным выше способом. После отгонки эфира получено 1,48 г прозрачного сиропа. При непродолжительном хранении в вакуум-эксикаторе над пятиокисью фосфора сироп загустел, после перекристаллизации из изопропанола выделено 0,6 г (26% от теории) белоснежных кристаллов с т. пл. 108—110°. Вещество описывается впервые.

Найдено %: N 13,57
$C_{12}H_{12}O_{13}N_4$. Вычислено %: N 13,33

Тринитро-рамнопиранозилбензол. Для синтеза взят рамнопиранозилбензол, описанный нами ранее ([6]). К 1,5 г (0,067 моля) вещества в 7 мл уксусного ангидрида добавлялось 4 мл дымящей азотной кислоты в 8 мл уксусного ангидрида. Дальнейшая обработка велась по указанной выше методике. Получено 1,5 г (62,5% от теории) светлого, прозрачного сиропа, который не удалось закристаллизовать. Вещество описывается впервые.

Найдено %: N 11,48
$C_{12}H_{13}O_{10}N_3$. Вычислено %: N 11,69

Тринитро-ксилопиранозилбензол. Для синтеза использован ранее полученный нами ксилопиранозилбензол ([5]). К раствору 1 г (0,047 моля) вещества в 7 мл уксусного ангидрида прибавлялся по каплям раствор 3 мл дымящей азотной кислоты в 4 мл уксусного ангидрида. Дальнейшая обработка — как обычно. Получено 1,45 г светлого сиропа, который после перекристаллизации из *н*-бутилового и изопропилового спирта дал 0,9 г (55% от теории) белого кристаллического продукта с т. пл. 74—76°. При быстром нагревании вещество взрывается. Вещество описывается впервые.

Найдено %: N 11,98
$C_{11}H_{11}O_{10}N_3$. Вычислено %: N 12,17

Тринитро-арабопиранозилбензол. Описанный нами ранее ([7]) триацетил-L-арабопиранозилбензол подвергался дезацетилированию аммиаком в абс. метаноле. В результате в виде сиропа получен не описанный ранее L-арабопиранозилбензол.

К раствору 2 г (0,094 моля) арабопиранозилбензола в 8 мл уксусного ангидрида добавлялось осторожно при охлаждении 3 мл дымящей азотной кислоты в 7 мл уксусного ангидрида. Дальнейшая обработка — как описано выше. После очистки получено 1,9 г (58% от теории) белоснежного кристаллического продукта с т. пл. 138—140°. При нагревании выше точки плавления вещество взрывается. Вещество описывается впервые.

Найдено %: N 11,79; 11,84
$C_{11}H_{11}O_{10}N_3$. Вычислено %: N 12,17

Ростовский-на-Дону государственный университет

Поступило 6 XII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] L. Brissaud, Mém. Serv. chim. état (Paris), **30**, 120 (1943). [2] G. Fleury, L. Brissaud, C. R., **222**, 105 (1946). [3] J. Honeyman, J. W. W. Morgan, Chem. and Ind., **1953**, 1035. [4] J. Honeyman, J. W. W. Morgan, Advances Carbohydr. Chem., **12**, 117 (1957). [5] Ю. А. Жданов, Г. В. Богданова, А. И. Чувилева, ДАН, **128**, 953 (1959). [6] Ю. А. Жданов, Г. А. Корольченко, Л. А. Кубасская, ДАН, **128**, 1185 (1959). [7] Ю. А. Жданов, Г. Н. Дорофеенко, ДАН, **113**, 601 (1957).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ХИМИЯ

Г. Н. ЗНАМЕНСКИЙ, И. В. ГАМАЛИ и В. В. СТЕНДЕР

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ «НЕОБЫЧНОЙ» ЧИСТОТЫ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 15 X 1960)

Как показали исследования реакции выделения водорода, изученной наиболее полно ([1-3]), скорость электродного процесса может заметно изменяться при загрязнении изучаемого раствора даже ничтожным количеством примесей. Следы загрязнений органического или неорганического происхождения оказывают значительное влияние и на электроосаждение металлов. Однако этому вопросу уделяется все еще слишком мало внимания.

При изучении кинетики процессов электроосаждения металлов обычно используют так называемые «химически чистые» соли, подвергнутые дополнительной перекристаллизации. Однако при этом все еще не достигается необходимая чистота эксперимента: недостаточно хорошо производится очистка воды от следов органических загрязнений, присутствие которых сильно влияет на структуру катодных осадков, часто допускается контакт исследуемых растворов с различными «химически стойкими» пластическими массами, которые также оказывают влияние на процесс электрокристаллизации.

При совместном разряде ионов металла и водорода (особенно при низких плотностях тока, в случае таких электроотрицательных металлов, как цинк и марганец) следы примесей изменяют выход металла по току, влияют на величину катодной поляризации и на структуру катодного осадка. При самом незначительном загрязнении раствора органическими примесями нельзя установить влияния малых количеств, строения и индивидуальных свойств поверхностноактивных добавок на структуру осаждаемого на катоде металла.

Приводим наши опытные данные по электроосаждению цинка и марганца на растворе «необычной» чистоты.

Растворы сульфата цинка готовились нами из металлического цинка с суммарным содержанием примесей 10^{-5}% (полученного по методу Института Гипроникель возгонкой в атмосфере азота), из перегнанной х. ч. серной кислоты и воды, тщательно очищенной от органических загрязнений длительным кипячением с перманганатом калия и трехкратной перегонкой, причем первые порции дистиллята (около $^1/_3$) не использовались. Полученный раствор дополнительно кипятился и длительно прорабатывался током с платиновыми электродами.

Из раствора, приготовленного таким образом, при «стандартных» ([4]) концентрациях цинка (60 г/л) и серной кислоты (100 г/л) можно было при 20° осаждать цинк с довольно высоким выходом по току — около 60% при малых плотностях тока в 1 а/м², и до 99% при 5 а/м², в то время как в электролите, приготовленном в трехкратно перекристаллизованного х. ч. сульфата цинка в тех же условиях, уже при плотности тока 30 а/м² наблюдалось интенсивное растворение цинка.

Электродный потенциал цинка высокой чистоты в чистом растворе сульфата цинка как в отсутствие тока, так и под небольшим током смещен на 25—30 мв в сторону отрицательных значений по сравнению с потенциалом обычного электролитного цинка марки ЦО.

При работе с растворами высокой чистоты необходимо обращать внимание на материал соприкасающихся с раствором деталей электролитической ячейки. Осадки катодного цинка, состоящие из крупных кристаллов правильной формы с зеркально-гладкими гранями, получаются только в стеклянных устройствах.

В случаях применения деталей из обычных пластмасс (винипласт, органическое стекло, полиэтилен) и даже из фторопласта наблюдается резкое изменение структуры цинкового осадка, кристаллы становятся неправильной формы, размер их уменьшается.

На рис. 1 приведены микрофотографии поверхности катодного цинка, показывающие резкое влияние материала деталей электролизера и следов

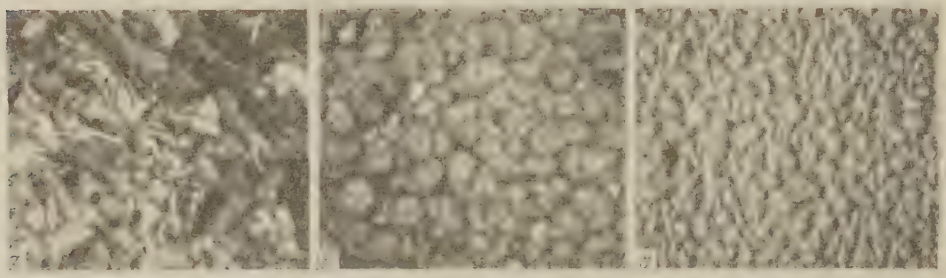


Рис. 1. Микрофотографии поверхности катодного цинка. Электролит 35 г/л Zn, 150 г/л H_2SO_4, $t = 50°$, продолжительность осаждения 1 час, $D_k = 6000$ а/м². 40 ×. *а* — электролитическая ячейка и вспомогательные приспособления из стекла, *б* — приспособление для крепления катода из винипласта, *в* — раствор приготовлен на бидистилляте без дополнительной очистки от следов органических примесей

органических примесей в воде на структуру осадков; последняя может служить своеобразным и очень чувствительным «индикатором» чистоты применяемого электролита.

Применение растворов высокой чистоты для электроосаждения цинка позволило нам разработать метод измерения величины действующей поверхности цинка, дающий хорошо воспроизводимые результаты ([5]). Этот метод может быть применен для исследования поверхности и других чистых металлов.

Не менее интересные результаты были получены при электролитическом выделении марганца из чистых растворов. Электролит, состоящий из 50 г/л марганца в виде хлорида и 110 г/л хлористого аммония, готовился нами из электролитного металла, перегнанной соляной кислоты марки х. ч. и газообразного аммиака в кипяченой с перманганатом и дважды перегнанной воде. Для опытов использовалась только средняя треть отгона как кислоты, так и воды. Растворение марганца производилось при низкой концентрации кислоты (pH $\geq$ 1). Раствор подвергался сульфидной очистке сульфидом марганца, приготовленным из ранее очищенного раствора хлористого марганца и сульфида аммония, который получался поглощением сероводорода раствором аммиака в дважды перегнанной воде; сероводород мы получали из сульфида натрия марки х. ч. и очищали от мышьяка.

После сульфидной очистки марганцевый электролит прорабатывался электролизом при малой габаритной плотности тока в 20—50 а/м², в стеклянном сосуде, в который была помещена стеклянная анодная ячейка со стеклянной диафрагмой, платиновым анодом и катодом из чистого алюминия. Католит непрерывно перемешивался мешалкой, анодные газы отсасывались. В католите выпадала гидроокись марганца, которая в дальнейшем сама окислялась кислородом воздуха до двуокиси и адсорбировала на себе возможные органические и неорганические примеси из электролита. После фильтрации раствор вновь прорабатывался электролизом; такая операция

повторялась трижды. После проработки раствора электролизом, которая проводилась в общей сложности в течение 200—220 час., в раствор вводилась гидроокись алюминия, полученная анодным растворением алюминия марки А-00 в нейтральном, чистом растворе хлористого марганца при плотности тока 10 а/м² и, наконец, раствор фильтровали через стеклянный фильтр.

Из раствора указанной чистоты при pH 7 можно было при 20° выделить марганец при плотности тока всего 10 а/м². При больших плотностях тока можно было получать катодный марганец с высокими выходами по току, до сих пор неизвестными:

Плотность тока, а/м²	400	660	1000	2000
Продолжительность электролиза, час., мин.	6^{52}	4^{08}	2^{45}	1^{23}
Выход по току, %	84	93	91	90

Все катодные осадки марганца имели явно кристаллическую структуру (см. рис. 2) даже в том случае, если в католит вводились взвешенные частицы

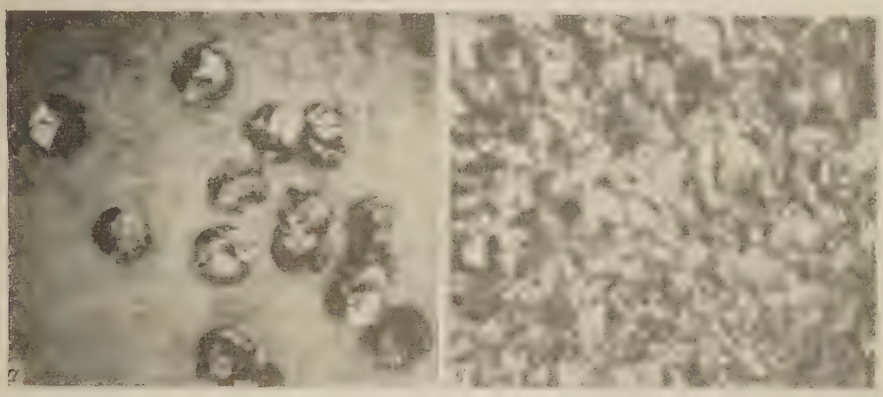


Рис. 2. Микрофотографии поверхности катодного марганца. Электролит 50 г/л Mn, 110 г/л NH_4Cl, $t = 20°$, количество электричества 0,275 а-ч/см². 40 ×. *а* — $D_k = 50$ а/м², *б* — $D_k = 400$ а/м²

гидратов марганца. Получение катодных осадков марганца так называемого неявно кристаллического типа ([6]) и невозможность осаждения марганца при низких плотностях тока ([7]) вызываются, по нашему мнению, наличием примесей в электролите.

Мы установили, что процесс образования и роста кристаллов электроотрицательных металлов цинка и марганца в чистых электролитах принципиально не отличается от электрокристаллизации серебра, описанной А. Т. Ваграмяном ([8]) и считаем, что кинетику электрокристаллизации и действие добавок следует изучать в особо чистых электролитах.

Днепропетровский химико-технологический институт
им. Ф. Э. Дзержинского

Поступило
9 V 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] S. D. Lewina, W. A. Sarinsky, Acta physicochim., **6**, 491 (1937). [2] O. M. Bockris, B. Conway, Trans. Farad. Soc., **45**, 989 (1949). [3] А. Н. Фрумкин, В. С. Багоцкий, З. А. Йофа, Б. Н. Кабанов, Кинетика электродных процессов, М., 1952. [4] Ф. М. Лоскутов, Металлургия свинца и цинка, М., 1956 [5] В. В. Стендер, Г. Н. Знаменский, Научн. докл. высш. школы, сер. хим., 1, 189 (1959). [6] О. С. Попова, К. М. Горбунова, ЖФХ, **32**, 2020 (1958). [7] Н. Я. Гаркави, В. В. Стендер, ЖПХ, **23**, 599 (1950). [8] А. Т. Ваграмян, Электроосаждение металлов, Изд. АН СССР, 1950.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2.

ХИМИЯ

Г. В. ОДАБАШЯН, В. А. ПОНОМАРЕНКО, Ю. Н. КОВАЛЕВ
и член-корреспондент АН СССР А. Д. ПЕТРОВ

КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ МОНОМЕРЫ С ФТОРСОДЕРЖАЩИМИ ЦИКЛОБУТИЛЬНЫМИ КОЛЬЦАМИ

Кремнийорганические полимеры, содержащие фторированные циклобутильные кольца, по литературным данным ([1-3]), обладают рядом ценных свойств. Метод синтеза мономеров, из которых получаются указанные полимеры, заключается в конденсации тетра- и трифторхлорэтиленов с алкенилсиланами, протекающей под давлением в течение 24—36 час. ([1-4]). Реакции протекают по схемам:

$$CF_2=CFCl + CH_2=CHSiCl_3 \xrightarrow[24\ час.]{210^\circ} Cl_3SiCHCFClCF_2CH_2;$$

$$CF_2=CF_2 + CH_2=CHSi(CH_3)Cl_2 \xrightarrow[36\ час.]{210^\circ} CH_3(Cl_2)SiCHCF_2CF_2CH_2 \text{ и т. д.}$$

В настоящей работе был изучен иной путь синтеза кремнийорганических мономеров, содержащих фторированные циклобутильные кольца, а именно синтез по схемам:

$$CH_2=CH-CH=CH_2 + CF_2=CF_2 \rightarrow CH_2=CHCHCF_2CF_2CH_2; \qquad (I)$$

$$R_nCl_{3-n}SiH + CH_2=CHCHCF_2CF_2CH_2 \xrightarrow{H_2PtCl_6} R_nCl_{3-n}SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2; \qquad (II)$$

$$R = CH_3,\ C_2H_5,\ C_6H_5;\ n = 0,\ 1,\ 2,\ 3.$$

Конденсация бутадиена с тетрафторэтиленом (схема I) протекает достаточно легко. Выход $CH_2=CHCHCF_2CF_2CH_2$ при этом достигает 90% ([5]). Как видно из табл. 1, все взятые нами кремнийгидриды в присутствии платино-

Таблица 1

№№ п. п.	Кремний-гидрид	Колич., г (мол.)	Винилтетрафторциклобутан, г (мол.)	Колич. 0,1 *M* раствора H_2PtCl_6, мл	Вес продукт. реакции, г	Продукты реакции	Выход г	Выход %
1	Cl_3SiH	13,6 (0,1)	15,4 (0,1)	0,1	27,5	$Cl_3SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$	26,5	91,0
2	CH_3SiCl_2H	14,0 (0,12)	16,5 (0,11)	0,2	29,5	$CH_3(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$	25,8	91,0
3	$C_2H_5SiCl_2H$	8,0 (0,06)	9,0 (0,06)	0,1	16,0	$C_2H_5(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$	13,9	82,0
4	$CH_3(C_2H_5)SiClH$	10,9 (0,1)	15,4 (0,1)	0,1	25,7	$CH_3(C_2H_5)(Cl)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$	20,6	79,0
5	$CH_3(C_2H_5)_2SiH$	10,5 0,1)	15,4 (0,1)	0,1	24,5	$CH_3(C_2H_5)_2SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$	18,3	72,0
6	$C_6H_5SiCl_2H$	6,8 (0,04)	6,0 (0,04)	0,05	11,3	$C_6H_5(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$	8,9	70,0
7	Cl_2SiH_2	7,5 (0,075)	23,2 (0,15)	0,3	25,6	$Cl_2Si(CH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2)_2$	14,2	46,0

ористоводородной кислоты присоединяются к винилтетрафторциклобута-
с высокими выходами. Нам удалось также в относительно более жестких
ловиях (в автоклаве при 130°) присоединить в присутствии платинохло-
стоводородной кислоты дихлорсилан к двум молекулам винилтетрафтор-
клобутана и получить, как видно из табл. 1, соответствующий мономер
выходом 46%.

Экспериментальная часть

1. β-(2, 2, 3, 3-тетрафторциклобутилэтил)-трихлор-

илан $Cl_3SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$. В трехгорлую круглодонную колбу
костью 250 мл, снабженную механической мешалкой, обратным холодиль-
ком и капельной воронкой, помещали 4 мл винилтетрафторциклобутана,
1 мл 0,1 *M* раствора $H_2PtCl_6 \cdot 6H_2O$ в изопропиловом спирте и 1 мл $HSiCl_3$.
еакционную смесь нагревали на водяной бане до начала реакции (~80°),

тем постепенно добавляли смесь $CH_2=CHCHCF_2CF_2CH_2$ с $HSiCl_3$ (всего
ия реакции было взято 15,4 г (0,1 моля) $CH_2=CHCHCF_2CF_2CH_2$ и 13,6 г
,1 моля) $HSiCl_3$) с такой скоростью, чтобы поддерживать температуру
этом уровне. После окончания добавления реагентов реакционную
есь нагревали еще в течение 15 мин. на водяной бане при энергичном
ремешивании. Из 27,5 г сырой смеси продуктов реакции разгонкой
вакууме получено 26,5 г (91%) $Cl_3SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$ с т. кип.
3,5 — 104,0° (31 мм); d_4^{20} 1,4395; n_D^{20} 1,4160; найдено MR_D 50,48; вычислено
,31.

Найдено %:	C 25,11; 25,21;	H 2,89; 3,02;	Cl 36,56; 36,50
$C_6H_7SiCl_3F_4$. Вычислено %:	C 24,89;	H 2,44;	Cl 36,76

2. β-(2, 2, 3, 3-тетрафторциклобутилэтил)-метилди-

лорсилан $CH_3(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$. Из 29,5 г сырой смеси
родуктов реакции, полученной в условиях опыта 1, разгонкой в вакууме
ыделено 25,8 г (91%) $CH_3(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$ с т. кип.
5 — 105,5° (28,5 мм), d_4^{20} 1,3151; n_D^{20} 1,4120; найдено MR_D 50,93; вычисле-
50,68.

Найдено %:	C 31,38; 31,45;	H 3,94; 3,86;	Cl 26,07; 26,06
$C_7H_{10}SiCl_2F_4$. Вычислено %:	C 31,30;	H 3,72;	Cl 26,05

3. β-(2, 2, 3, 3-тетрафторциклобутилэтил)-этилди-

лорсилан $C_2H_5(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$. Из 16 г сырой смеси
родуктов реакции, полученной в условиях опыта 1, разгонкой в вакууме
ыделено 13,9 г (82%) $C_2H_5(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$ с т. кип. 99° (11 мм),
d_4^{20} 1,2834; n_D^{20} 1,4180; найдено MR_D 55,61; вычислено 55,19.

Найдено %:	C 34,54; 34,44;	H 4,79; 4,69;	Cl 24,87; 24,68
$C_8H_{12}SiCl_2F_4$. Вычислено %:	C 33,92;	H 4,26;	Cl 25,00

4. β-(2,2,3,3-тетрафторциклобутилэтил)-метилэтил-

лорсилан $CH_3(C_2H_5)(Cl)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$. Из 25,7 г сырой
меси продуктов реакции, полученной в условиях опыта 1, разгонкой в ва-
ууме выделено 20,6 г (79%) $CH_3(C_2H_5)(Cl)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$

с т. кип. 96 — 96,5° (13,5 мм), d_4^{20} 1,1663; n_D^{20} 1,4102; найдено MR_D 55,84 вычислено 55,56.

	Найдено %:	C 41,03; 41,05;	H 5,68; 5,81;	Cl 13,33; 12,79	
$C_9H_{15}SiClF_4$.	Вычислено %:	C 41,10;	H 5,75;	Cl 13,47	

5. β-(2, 2, 3, 3-тетрафторциклобутилэтил) - метилдиэтилсилан $CH_3(C_2H_5)_2SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$. Из 24,5 г сырой смеси продуктов реакции, полученной в условиях опыта 1, разгонкой в вакууме выделено 18,3 г (72%) $CH_3(C_2H_5)_2SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$ с т. кип. 86 — 86,5° (11 мм), d_4^{20} 1,0373; n_D^{20} 1,4070; найдено MR_D 60,84 вычислено 60,94.

	Найдено %:	C 52,01; 52,24;	H 7,92; 7,79;	F 29,69; 29,69	
$C_{11}H_{20}SiF_4$.	Вычислено %:	C 51,79;	H 7,83;	F 29,66	

6. β-(2, 2, 3, 3-тетрафторциклобутилэтил) - фенилдихлорсилан $C_6H_5(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$. Из 11,3 г сырой смеси продуктов реакции, полученной в условиях опыта 1, разгонкой в вакууме выделено 8,9 г (70%) $C_6H_5(Cl_2)SiCH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2$ с т. кип. 119,5 — 120° (3, 5 мм), d_4^{20} 1,3223; n_D^{20} 1,4836; найдено MR_D 70,90; вычислено 70,35.

	Найдено %:	C 44,55; 44,27;	H 3,69; 3,92;	Cl 21,90; 21,68	
$C_{12}H_{12}SiCl_2F_4$.	Вычислено %:	C 43,80;	H 3,64;	Cl 21,26	

7. Бис-(β-2,2,3,3-тетрафторциклобутилэтил)-дихлорсилан $Cl_2Si(CH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2)_2$. В пробирочный автоклав из нержавеющей стали емкостью 200 мл в стеклянной пробирке была помещена смесь 23 2 г (0,15 моля) $CH_2 = CHCHCF_2CF_2CH_2$, 7,5 г (0,075 моля) H_2SiCl_2 и 0,3 мл 0,1 М раствора $H_2PtCl_2 \cdot 6H_2O$ в изопропиловом спирте. Смесь была нагрета до температуры 120°, при которой наблюдался резкий скачок температуры до 158°. Давление при этом осталось неизменным, 5,5 атм. Продолжительность реакции 2 часа. При разгрузке автоклава остаточное давление составило 1 атм. Из 25,6 г сырой смеси продуктов реакции разгонкой в вакууме выделено 14,2 г (46%) кристаллического $Cl_2Si(CH_2CH_2CHCF_2CF_2CH_2)_2$ с т. кип. 125—126° (2,5 мм).

	Найдено %:	C 35,17; 35,55;	H 3,48; 3,57;	Cl 17,10; 17,35	
$C_{12}H_{14}SiCl_2F_8$.	Вычислено %:	C 35,18;	H 3,48;	Cl 17,32	

Институт органической химии
им. Н. Д. Зелинского
Академии наук СССР

Поступило
7 XII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] L. W. Frost, Ам. пат. 2596967 (1952); Chem. Abstr., 47, 4365 (1953). [2] Брит. пат. 760201 (1956); Chem. Abstr., 51, 14796 (1957). [3] Брит. пат. 802358 (1958); Chem. Abstr., 52, 9100 (1959) [4] J. D. Park, J. D. Groves, J. R. Lacher, J. Org. Chem., 25, № 9, 1628 (1960), [5] D. D. Goffman, P. L. Barrick et al., J. Am. Chem. Soc., 71, 490 (1948).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ХИМИЯ

Член-корреспондент АН СССР Р. Х. ФРЕЙДЛИНА, В. Н. КОСТ, М. Я. ХОРЛИНА
и академик А. Н. НЕСМЕЯНОВ

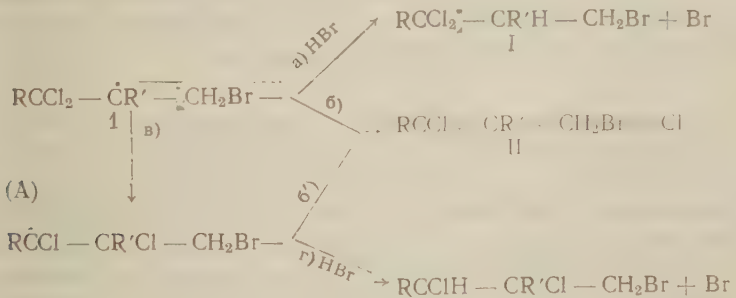
ПЕРЕГРУППИРОВКИ В ПРОЦЕССЕ ГОМОЛИТИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ БРОМИСТОГО ВОДОРОДА К ПОЛИГАЛОИДАЛКЕНАМ

Ранее было найдено ([1–5]), что радикалы $CCl_3\dot{C}X - CH_2Y$, где X = H, Cl, Br, CH_3; Y = Cl, Br, CCl_3, SC_6H_5, изомеризуются в радикалы строения $\dot{C}Cl_2 - CXCl - CH_2Y$. Аналогичная перегруппировка была отмечена авторами ([6]) и в случае радикала с дихлорметильной группой $CHCl_2 - \dot{C}H - CH_2Br$, который изомеризуется в более стабильный радикал $\dot{C}HCl - CHCl - CH_2Br$.

В данной работе была исследована способность к такой перегруппировке радикалов строения $RCCl_2\dot{C}R'CH_2Br$ (R = H, CH_3; R′ = H, CH_3), содержащих дихлорметильную и дихлорметиленовую группы в α-положении к радикальному центру; радикалы генерировались в процессе гомолитического присоединения бромистого водорода к соответствующим непредельным соединениям $RCCl_2CR' = CH_2$

$$RCl_2 - \dot{C}R' - CH_2 \xrightarrow[(C_6H_5CO_2)_2]{HBr} RCCl_2 - \underset{1}{\dot{C}R'} - CH_2Br$$

Можно было ожидать, что радикалы 1 в изучаемых реакциях будут реагировать в соответствии со схемой А:



$$RCCl_2 - CR' = CH_2 + Cl \xrightarrow{(д)} RCCl_2 - \underset{2}{\dot{C}R'} - CH_2Cl \text{ и т. д.},$$

где R, R′ = H, CH_3; радикал 2 претерпевает те же превращения, что и радикал 1.

В данном случае интересно было сравнить стабильность исходных радикалов и радикалов, могущих образоваться при перегруппировке, а именно: вторичного радикала $CH_3CCl_2 - \dot{C}H - CH_2Br$ с формально вторичным же радикалом, но связанным с хлором, $CH_3\dot{C}Cl - CHCl - CH_2Br$, затем вторичного и третичного радикалов $CHCl_2 - CR' - CH_2Br$ (R′ = H или CH_3) с первичным радикалом с хлором при углероде, несущем свободную валентность, $\dot{C}HCl - CClR' - CH_2Br$.

Присоединение бромистого водорода к 3,3-дихлорбутену-1 привело образованию только перегруппированного продукта реакции—2,3-дихлор-1-бромбутана (см. схему А, направление в, г; R = CH_3; R′ = H).

Взаимодействие бромистого водорода с 1,1-дихлорпропеном-2, как было нами показано ранее, протекает с образованием перегруппированного продукта реакции 1,2-дихлор-3-бромпропана. Проведение опыта в растворителе и работа с большим количеством веществ позволили в этом случае выделить наряду с 1,2-дихлор-3-бромпропаном неперегруппированный продукт реакции 1,1-дихлор-3-бромпропан (см. схему А, направление а, в, г; R, R′ = H).

1,1-Дихлор-2-метилпропен-2 реагирует с бромистым водородом с образованием смеси продуктов реакции, состоящей из перегруппированного 1,2-дихлор-3-бром-2-метилпропана(III), неперегруппированного 1,1-дихлор-3-бром-2-метилпропана (I), трихлоризобутана и 1-хлор-3-бром-2-метилпропена 1 (II). Образование этих веществ можно представить схемой, аналогичной схеме А (R = H, R′ = CH_3).

Таблица 1

Олефин	Выход суммы продуктов присоединения HBr, % от теоретич.	Перегруппировка, %
$CHCl_2-CH=CH_2$	73	100
$CH_3CCl=CH_2$	53	90
$CH_3CCl_2-C(CH_3)=CH_2$	61	50—55
$CHCl_2-CCl=CH_2$	22	0

Для исключения предположения, что перегруппированные продукты реакции получены аллильной изомеризацией исходных непредельных соединений с последующим присоединением к ним бромистого водорода и имеют строение $CH_3CHCl-CHBr-CH_2Cl$ и $CH_2Cl\,C(CH_3)Br\,CH_2Cl$ соответственно, были поставлены глухие опыты присоединения бромистого водорода в присутствии перекиси бензоила к $CH_3CCl=CH-CH_2Cl$ и $CHCl=C(CH_3)-CH_2Cl$ (аллильным изомерам исходных непредельных соединений), давшие отрицательные результаты.

Выход продуктов присоединения и зависимость перегруппировки от строения исходных олефинов показаны в табл. 1.

На основании этих данных можно расположить изученные радикалы по их стабильности следующим образом: $CHCl_2-\dot{C}ClCH_2Br > \dot{C}HClCCl_2CH_2Br$; $CH_3\dot{C}ClCHClCH_2Br > CH_3CCl_2\dot{C}HCH_2Br$; $\dot{C}HClCHClCH_2Br > CHCl_2\dot{C}HCH_2Br$; $CHCl_2\dot{C}(CH_3)CH_2Br \approx \dot{C}HClCCl(CH_3)CH_2Br$.

Экспериментальная часть

Присоединение бромистого водорода к $CH_3CCl_2-CH=CH_2$. Раствор 16 г $CH_3CCl_2CH=CH_2$ * и 0,5 г перекиси бензоила в 48 г четыреххлористого углерода был насыщен бромистым водородом при 70 — 75°. После промывания раствором соды, водой, высушивания над $CaCl_2$ и отгонки растворителя получено 18,5 г (73% от теоретич.) 2,3-дихлор-1-бромбутана с т. кип. 67 — 67,5° при 12 мм, n_D^{20} 1,5042; d_4^{20} 1,5985; найдено *MR* 38,15; вычислено 38,17.

$C_4H_7Cl_2Br$. Найдено %: C 23,06; 23,30; H 3,52; 3,32
Вычислено %: C 23,33; H 3,43

Пикрата $CH_3CHCl-CHCl-CH_2S-C=NH(NH_2)$, т. пл. 165 — 165,5° (из спирта).

$C_{11}H_{13}Cl_2N_5O_7S$. Найдено %: C 30,91; 31,09; H 3,23; 3,28; N 16,80; 16,76
Вычислено %: C 30,71; H 3,05; N 16,28

* Константы $CH_3CCl_2CH=CH_2$: т. кип. 95°, n_D^{20} 1,4460; d_4^{20} 1,1043.

При дегидробромировании 13,6 г $CH_3CHClCHClCH_2Br$ 4,1 г КОН в этилцеллозольве получено 4,1 г (60% от теорет.) 2,3-дихлорбутена-1 т. кип. 111 — 112°, n_D^{20} 1,4580; d_4^{20} 1,1340 (лит. данные (7): т. кип. 111,8°, n_D^{20} 1,4571; d_4^{20} 1,1411). В результате озонолиза $CH_3CHClCCl=CH_2$ выделен формальдегид с т. пл. димедонового производного 185 — 186° (лит. данные (8): 188 — 189°) и α-хлорпропионовая кислота *, идентифицированная в виде анилида с т. пл. 88° (лит. данные (9): т. пл. 92°).

	Найдено %:	C 58,72; 58,53;	H 5,44; 5,46;	Cl 20,20; 20,06
$C_9H_{10}ClNO$.	Вычислено %:	C 58,83;	H 5,49;	Cl 19,31

Присоединение HBr к $CHCl_2CH=CH_2$. Раствор 143 г $CHCl_2CH=CH_2$ и 1,5 г перекиси бензоила в 240 г гептана насыщен бромистым водородом при 80°. После обработки, описанной в предыдущем опыте, и перегонки на колонке при 34 мм получено 131 г смеси дихлорбромпропанов (53% от теорет.), из которой выделены фракции: I, т. кип. 71 — 77°, n_D^{20} 1,5034 — 1,5080, 12 г (9% от суммы продуктов); II, т. кип. 81°, n_D^{20} 1,5170, d_4^{20} 1,7504, 113,7 г (86% от суммы продуктов).

Из I фракции после второй перегонки выделен 1,1-дихлор-3-бромпропан т. кип. 74 — 74,5° при 34 мм, n_D^{20} 1,5045; d_4^{20} 1,7084; найдено *MR* 33,29; вычислено 33,55 **.

Пикрат $CHCl_2CH_2-CH_2S-C(=NH)(NH_2)$ т. пл. 147 — 148° (из спирта).

	Найдено %:	C 28,82; 28,56;	H 2,56; 2,61
$C_{10}H_{11}Cl_2N_5O_7S$.	Вычислено %:	C 28,86;	H 2,67

Смешанная проба с пикратом, полученным из заведомого $CHCl_2-CH_2CH_2Br$, плавилась при 147—148°; с пикратом $CH_2Cl-CHCl-CH_2S-C(=NH)(NH_2)$ 139°. Строение вещества II фракции см. (6).

Присоединение бромистого водорода к $CHCl_2C(CH_3)=CH_2$. Раствор 45 г $CHCl_2C(CH_3)=CH_2$ и 0,5 г перекиси бензоила в 110 г четыреххлористого углерода был насыщен бромистым водородом при 80° до прекращения изменения показателя преломления. После обычной обработки и перегонки продуктов реакции на колонке при 17 мм получены следующие фракции: I, 52 — 60°, n_D^{20} 1,4929, 7,4 г; II, 60— 66°, n_D^{20} 1,4886, 2,7 г; III, 69,5—71°, n_D^{20} 1,5025 d_4^{20} 1,6098; найдено *MR* 37,78; вычислено для $C_4H_7Cl_2Br$ 38,17; 46,2 г (61% от теорет.).

Фракции I и II содержат смесь $CHCl=C(CH_3)-CH_2Br$ и трихлоризобутана. Первый удален обработкой смеси тиомочевиной в мягких условиях с получением $CHCl=C(CH_3)-CH_2S-C(=NH)(NH_2)$, т. пл. пикрата 193° (из спирта). Смешанная проба с заведомым образцом депрессии температуры плавления не дала.

	Найдено %:	C 33,58; 33,86;	H 3,17; 3,20;	N 17,37; 17,38
$C_{11}H_{12}ClN_5O_7S$.	Вычислено %:	C 33,55;	H 3,07;	N 17,78

При перегонке остатка был выделен трихлоризобутан с т. кип. 160°, n_D^{20} 1,4765; d_4^{20} 1,2918; найдено *MR* 35,29; вычислено 35,27. (Константы 1,2,3-трихлор-2-метилпропана, полученного независимым путем (10): т. кип. 163°, n_D^{20} 1,4770; d_4^{20} 1,3010.)

---

* α-Хлорпропионовая кислота получена из продуктов озонолиза без дополнительного окисления.

** Константы $CHCl_2-CH_2-CH_2Br$, полученного независимым путем: т. кип. 72° при 30 мм, n_D^{20} 1,5030; d_4^{20} 1,7093. Найдено *MR* 33,19.

	Найдено %:	C 18,88; 18,91;	H 2,58; 2,53
$C_4H_7Cl_2Br$.	Вычислено %:	C 18,77;	H 2,63.

Фракция III представляет собой смесь 3,3-дихлор-1-бром-2-метилпропана и 2,3-дихлор-1-бром-2-метилпропана.

Найдено %: C 23,27; 23,43; H 3,33; 3,28
$C_4H_7Cl_2Br$. Вычислено %: C 23,33; H 3,43

В результате нагревания 8,4 г смеси (III фракция) с 3,1 г тиомочевины в спирте в запаянной ампуле в течение 20 час. и соответствующей обработки выделено: 1) 6,4 г сухого остатка, состоящего из непрореагировавшей тиомочевины и изотиомочевинного производного $CHCl_2C(CH_3)H—CH_2SC(=NH)(NH_2)$ (выход 40% от теорет.); т. пл. пикрата 164—165° (из спирта).

Найдено %: C 31,01; 30,90; H 3,07; 3,15; N 15,84; 15,95
$C_{11}H_{13}Cl_2N_5O_7S$. Вычислено %: C 30,71; H 3,05; N 16,24

2) 3,6 г (42% от теорет.) масла, из которого после перегонки выделен 1,2-дихлор-3-бром-2-метилпропан с т. кип. 67 — 68° при 16 мм, n_D^{20} 1,5040; d_4^{20} 1,6154; найдено *MR* 37,71, вычислено 38,18 *.

При дегидробромировании 45 г дихлорбромизобутановой фракции 15 г КОН в этилцеллозольве при 0° получено: 1) 8,5 г $CHCl_2—C(CH_3)=CH_2$ с т. кип. 49 — 50°, при 105 мм, n_D^{20} 1,4560; d_4^{20} 1,1346 (константы $CHCl_2C(CH_3)=CH_2$, полученного по методике [11]: т. кип. 48 — 49° при 100 мм; n_D^{20} 1,4582; d_4^{20} 1,1344).

При озонолизе $CHCl_2-C(CH_3)=CH_2$ выделен формальдегид в виде димедонового производного.

2) 20,4 г 1,2-дихлор-3-бром-2-метилпропана, который в данных условиях не реагирует с КОН, с т. кип. 112 -113° при 100 мм; n_D^{20} 1,5038; d_4^{20} 1,6124, найдено *MR* 37,75; вычислено 38,18; который с тиомочевиной в жестких условиях не реагирует; при обработке его Zn в спирте выделен $CH_2Cl—C(CH_3)=CH_2$, идентифицированный в виде пикрата изотиомочевинного производного с т. пл. 168 — 169°.

Из заведомого $CH_2Cl—C(CH_3)Cl—CH_2Br$ аналогичным образом (Zn, затем тиомочевина) получено изотиурониевое производное, т. пл. пикрата 168 — 169,5° (из спирта).

Найдено %: C 36,42; 36,59; H 3,63; 3,44; N 20,01; 20,23
$C_{11}H_{13}N_5O_7S$. Вычислено %: C 36,76; H 3,66; N 19,49

Смешанная проба двух пикратов плавилась при 168 — 169°.

Институт элементоорганических соединений
Академии наук СССР

Поступило
23 XI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. Н. Несмеянов Р. Х. Фрейдлина, Л. И. Захаркин, ДАН, **81**, 199 (1951). [2] А. Н. Несмеянов, Р. Х. Фрейдлина, В. Н. Кост, ДАН, **113**, 828 (1957). [3] А. Н. Несмеянов, Р. Х. Фрейдлина, А. Б. Белявский, Изв. АН СССР, ОХН, **1959**, № 6, 1028. [4] А. Н. Несмеянов, Р. Х. Фрейдлина, Р. Г. Петрова, А. Б. Терентьев, ДАН, **127**, 575 (1959). [5] А. Н. Несмеянов, В. Н. Кост, М. Я. Хорлина, Р. Х. Фрейдлина, ДАН, **128**, 316 (1959). [6] Р. Х. Фрейдлина, М. Я. Хорлина, А. Н. Несмеянов, Изв. АН СССР, ОХН, **1960**, № 4, 658. [7] G. W. Hearne, D. S. La France, Am. Pat. 2446475 (1948); Chem. Abstr., **43**, 663, (1949). [8] В. С. Джонсон, Р. Д. Шеннан. Р. А. Рид, Органические реактивы для органического анализа, ИЛ, 1948, стр. 127, [10] M. S. Kharasch, H. C. Brown, J. Am. Chem. Soc., **62**, 928 (1940). [11] A. Mooradion, J. Cloke, J. Am. Chem. Soc., **68**, 787 (1946). [12] Д. В. Тищенко, ЖОХ, **8**, 1239 (1938).

* 1,2-Дихлор-3-бром-2-метилпропан, полученный хлорированием $CH_2=C(CH_3)—CH_2Br$ в кислой среде, имел следующие константы: т. кип. 75° при 21 мм; n_D^{20} 1,5071; d_4^{20} 1,6110.

Найдено %: C 23,50; 23,62; H 3,47; 3,57
$C_4H_7Cl_2Br$. Вычислено %: C 23,33; H 3,43

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. Я. ГОХШТЕЙН

К ТЕОРИИ $I-t$-КРИВЫХ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ АНИОНОВ НА КАПЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОДЕ В ПРИСУТСТВИИ АДСОРБИРУЮЩЕГОСЯ КАТАЛИЗАТОРА

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 1 XII 1960)

Ряд интересных результатов в области теории полярографических токов ри одновременной адсорбции поверхностно-активного вещества, скорость оторой определяется диффузией, получен в работах Вебера, Коутецкого, орыта и Кута. Эти авторы подробно исследовали случай линейной зависиости скорости реакции от заполнения [1], а для экспоненциальной зависимоти дали, не учитывая влияния концентрационной поляризации, расчет ачального участка $I-t$-кривой [2].

Направление настоящей работы было выбрано в связи с исследованиями . Н. Фрумкина, О. А. Петрия и Н. В. Николаевой-Федорович [3], полувших при восстановлении многозарядных анионов в присутствии адсорирующихся катионов $I-t$-кривые с хорошо выраженным максимумом. ель настоящей работы — учет концентрационной поляризации и вывод оотношений между характерными точками $I-t$-кривой на всем ее протяжении и величинами, определяющими кинетику разряда ионов.

Ток I, зависимость которого от времени t требуется определить, вызван еобратимой реакцией, протекающей при постоянном потенциале φ на поерхности расширяющегося сферического электрода. Объем сферы увеличивается с постоянной скоростью m/γ; m (в г/сек) — скорость вытекания ртути, γ (в г/см^3) — удельный вес ртути. Начальные концентрации аниона катализатора C и C_0, коэффициенты диффузии D и D_0. При добавке постороннего электролита и малой по сравнению с радиусом электрода толщине диффузионного слоя уравнение конвективной диффузии имеет вид [4]

$$\partial c/\partial t-(2x/3t)\partial C/\partial x=D\,\partial^2 C/\partial x^2; \qquad (1)$$

(x, t) — концентрация аниона на расстоянии x от поверхности электрода. раничное условие вытекает из уравнения А. Н. Фрумкина [5]

$$\frac{I}{nFS}=D\,\frac{\partial C\,(0,\,t)}{\partial x}-C\,(0,\,t)\,k\exp\frac{(n+\alpha)\,F\psi_1}{RT}\exp\left[-\frac{\alpha F\varphi}{RT}\right]. \qquad (2)$$

де α — барьерный коэффициент, n — число электронов и k — константа корости реакции. Поверхностную плотность адсорбированного вещества ожно определить из уравнения Ильковича [1].

$$Q\,(t)=2\,(3/7\pi)^{1/2}D_0^{1/2}C_0t^{1/2}\quad (\text{моль/см}^2). \qquad (3)$$

Обозначим ψ_1-потенциал в отсутствие катализатора через ψ_{10}; тогда можно риближенно принять

$$\psi_1\,(t)=\psi_{10}+\sigma Q\,(t), \qquad (4)$$

де постоянный коэффициент σ определяется кинетикой процесса.

Соединяя (2), (3), (4), получим (5)

$$\frac{\partial C}{\partial x}\,(0,\,t)=C\,(0,\,t)k\exp\left\{\frac{F}{RT}[(n+\alpha)\psi_{10}-\alpha\varphi]\right\}\exp\left[2\left(\frac{3}{7\pi}\right)^{1/2}\frac{F}{RT}\sigma(n+\alpha)D_0^{1/2}C_0t^{1/2}\right].$$

В новых переменных

$$y=t^{3/8}x,\quad h=st^{7/8},\quad s=\left[2\left(\frac{3}{7\pi}\right)^{1/2}\frac{F}{RT}\sigma(n+\alpha)\,D_0^{1/2}C_0\right]^{14/3} \qquad (6)$$

(1) и (5) примут вид

$$\frac{\partial C}{\partial h} = \frac{3D}{7s}\frac{\partial^2 C}{\partial y^2}, \quad \frac{\partial C}{\partial y} = s^{2/7}\frac{k}{D}\exp\left\{\frac{F}{RT}[(n+\alpha)\psi_{1_0} - \alpha\varphi]\right\} h^{-2/7} e^{h^{2/14}} C(0, h). \quad (7)$$

Первое из этих уравнений при $C(y, 0) = C$ эквивалентно следующему:

$$C(0, h) = C - \left(\frac{3D}{7\pi s}\right)^{1/2} \int_0^h \frac{[\partial C(0, \xi)/\partial y]\, d\xi}{\sqrt{h-\xi}}. \quad (8)$$

Исключая из (7) и (8) $C(0, h)$, вводя новую искомую функцию

$$f(h) = \frac{1}{C}\left(\frac{3D}{7\pi s}\right)^{1/2}\frac{\partial C(0, h)}{\partial y} \quad (9)$$

и производя с учетом (6) сокращения постоянных, получим для $f(h)$ интегральное уравнение

$$f(h) = \frac{1}{p} h^{-2/7} e^{h^{2/14}}\left[1 - \int_0^h \frac{f(\xi)\, d\xi}{\sqrt{h-\xi}}\right], \quad (10)$$

содержащее параметр

$$p = \frac{2F}{RT}\frac{\sigma(n+\alpha) D_0^{1/2} D^{1/2} C_0}{k\exp\frac{F}{RT}[(n+\alpha)\psi_{1_0} - \alpha\varphi]}; \quad (11)$$

f, h и p безразмерны. Для дальнейшего из (11) удобно выделить группы коэффициентов:

$$p = \frac{\nu C_0}{\omega}, \quad \nu = \sigma(n+\alpha) D_0^{1/2}, \quad \omega = \frac{RT}{2F} D^{-1/2} k\exp\frac{F}{RT}[(n+\alpha)\psi_{1_0} - \alpha\varphi]. \quad (12)$$

В серии опытов, в которой ν и ω постоянны, параметр p меняется с концентрацией катализатора C_0. Оценка интеграла, стоящего в квадратных скобках (10), показывает, что при $h > 10^3$ и $p > 10^4$ (эти границы не стесняют практических расчетов) особенностью функции f при $h = 0$ можно пренебречь, не рискуя сделать ошибки в четвертом знаке.

Уравнение (10) решалось для различных значений p численным методом, описанным ранее ([6]). Определив из (10) функцию $f(h)$, возвращаясь к старым переменным и приводя коэффициенты, получим для тока, идущего со всей поверхности $S(t)$ электрода в момент времени t, выражение

$$I = nFDS(t)\,\partial C(0, t)/\partial x = 6{,}458\, F(F/RT)^{2/3}(m/\gamma)^{2/3} nCD^{1/2}(\nu C_0)^{7/3} f t^{4/3}. \quad (13)$$

Благодаря связи (6) между t и h функция f может быть отнесена к каждому из этих переменных, $f(h) = f(st^{7/3})$. Ток пропорционален $ft^{4/3}$, и, следовательно $f/h^{4/7}$. Отсюда вытекает, что I и f достигают максимума при различных значениях h. Значения f и h, при которых ток максимален ($I_{\max}$), обозначим через f_m и h_m. Для их определения достаточно умножить вычисленную функцию $f(h)$ на $h^{4/7}$. Местоположение ее максимума укажет h_m, после чего $f_m = f(h_m)$. Используя соотношения, полученные ранее для нисходящих ветвей полярограмм ([7]), можно указать следующее представление $f(h)$ на некотором удалении от ее максимума:

$$f(h) = 0{,}318\,(h - h_a)^{-1/2}. \quad (14)$$

От p здесь зависит только h_a; так, при $p = 10^6$ $h_a = 0{,}972 \cdot 10^5$. Из (14) видно, что вслед за максимумом тока на $I - t$-кривой должен следовать минимум ($I_{\min}$). Соответствующее ему $h_{\min}$ определяется из условия минимума функции $fh^{4/7}$. Согласно (14)

$$h_{\min} = 8h_a, \quad f_{\min} = 0{,}318\,(7h_a)^{-1/2}. \quad (15)$$

(14) позволяет продолжить $f(h)$, после того как значение этой функции вычислено при $h \approx 3h_a$. Вслед за $f(h)$ и $f(h)\,h^{4/7}$ вычисляется $f(st^{7/3})\,t^{4/3}$ (рис. 1), которое, будучи подставлено в (13), дает ток как функцию времени. На рис. 1 показано также изменение приэлектродной концентрации во

ремени. Умножение правой части (13) на $h^{1/2}s^{1/2}t^{1/6}$ 1 (см. (6)) дает для $I-t$-кривой другое выражение:

$$I = 13{,}093\ F\,(m/\gamma)^{2/3}\,nCD^{1/2}h^{1/2}ft^{1/6} = 2{,}30\,Fm^{2/3}nCD^{1/2}h^{1/2}ft^{1/6}. \qquad (16)$$

Из (14) следует, что при увеличении h $(h^{1/2}f) \to 0{,}318$. Подставляя этот предел в (16), получаем в качестве частного случая известное уравнение Тальковича. Таким образом, при больших h $I/I_{\text{пред}} \sim \sqrt{h'(h-h_a)}$; при $h \gg h_a$ $I-t$-кривая сливается с кривой предельного тока. Номограммы для построения $I-t$-кривых при любом значении p, $10^3 \leqslant p \leqslant 10^9$ см. рис. 2.

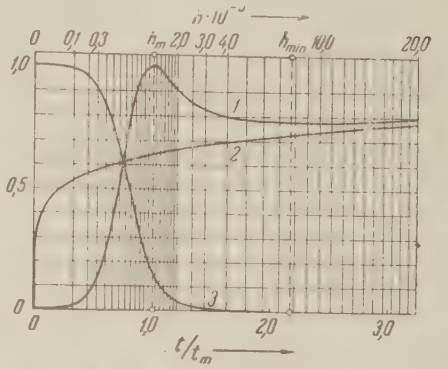


Рис. 1. 1 — теоретически вычисленная $I-t$-кривая; 2 — предельный ток, единица тока $I_{\max}$; $3 - C(0, t)/C.p = 10^9$

Переходим к выводу соотношений для максимума на $I-t$-кривой. Соответствующие ему значения f_m, h_m, $C(0, t_m)/C$, вычисленные из (10) при различных значениях p, показаны на рис. 3. Выбранный там интервал значений $10^3 \leqslant p \leqslant 10^9$, на котором определены соответствующие функции, содержит внутри себя встречающиеся на практике значения p. Обращает на себя внимание, что $h_m^{1/2} f_m$ практически линейно зависит от $\lg p$,

$$h_m^{1/2} f_m = 0{,}290 + 0{,}0341 \lg p, \quad 10^3 < p < 10^9. \qquad (17)$$

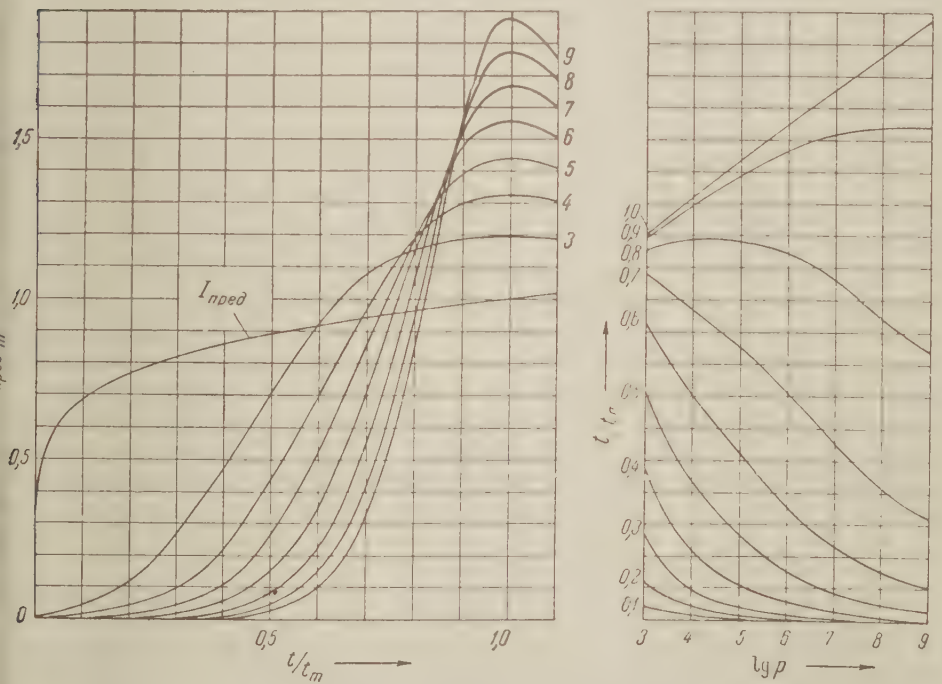


Рис. 2. $I-t$-кривые при значениях p: 10^3; 10^4; 10^5; 10^6; 10^7; 10^8; 10^9 и предельный ток. Справа — интерполяционная номограмма

Подстановка (17) в (16) приводит к основному уравнению для тока в максимуме $I-t$-кривой:

$$I_{\max} = (0{,}666 + 0{,}0782 \lg p)\, Fm^{2/3}ncD^{1/2}t_m^{1/6}. \qquad (18)$$

Деление (18) на величину предельного тока в тот же момент времени дает соотношение, удобное для приложений: $I_{max}/I_{пред} = 0{,}91 + 0{,}107 \lg p$. (19)

Из (19) можно определить p, не зная многих констант опыта. Предельный ток может быть получен экспериментально либо (что точнее) воспроизведен по участку $I - t$-кривой, достаточно удаленному от пика. При $p = 10^6$ $I_{max}/I_{пред} = 1{,}55$ (рис. 1). Для времени появления максимума из (6) получаем

$$t_m = \frac{7\pi}{12}\left(\frac{RT}{F}\right)^2 \frac{h_m^{3/7}}{\nu^2 C_0^2},$$

$$t_{m,\,(20°)} = 1{,}169 \cdot 10^{-3} \frac{h_m^{3/7}}{\nu^2 C_0^2},$$

$$t_{m,\,(25°)} = 1{,}209 \cdot 10^{-3} \frac{h_m^{3/7}}{\nu^2 C_0^2}. \quad (20)$$

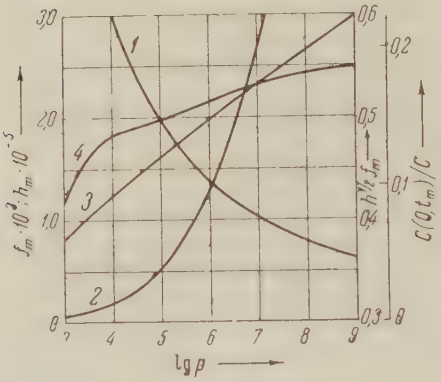


Рис. 3. f_m (1), h_m (2), $h_m^{1/2} f_m$ (3), $C(0, t_m)/C$ (4) как функции параметра p

Точные значения h_m даны на рис. 3; при $10^4 < p < 10^9$ допустимо представление $h_m^{3/7} = 4\,(\lg p)^{2{,}04} \approx 4 \lg^2 p$. Для двух $I - t$-кривых с различными концентрациями катализатора C_{01} и C_{02} из (20)

$$t_{m1}/t_{m2} = (C_{02}/C_{01})^2\,(h_{m1}/h_{m2})^{3/7}. \quad (21)$$

При $(C_{02}/C_{01}) < 2$ $(h_{m1}/h_{m2})^{3/7}$ близко к 1 и $(t_{m1}/t_{m2}) \approx (C_{02}/C_{01})^2$, т. е. время максимума t_m очень чувствительно к изменению C_0, что может быть использовано для аналитических определений. Наоборот, отношение (19) изменяется медленно, как $\lg C_0$. Для определения из экспериментальных данных величин ν и ω достаточно из (19) найти p и затем последовательно воспользоваться уравнениями (20) и (12). Так как в определении предельного тока возможны ошибки (10%), то значение p, найденное из (19), нужно уточнить по номограмме рис. 2, используя точки восходящей ветви. Для сдвига ψ_1-потенциала в точке максимума $\Delta\psi_{1m} = [RT/(n+\alpha)F]\, h_m^{1/4} \approx 2\,[RT/(n+\alpha)F] \lg p$. Подстановка $C(0, t_m)/C$ (рис. 3) в (2) дает простую связь между максимальным током и константой скорости.

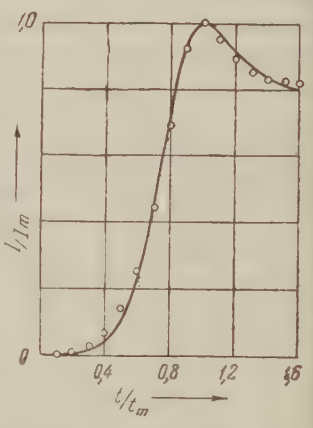


Рис. 4. Экспериментальные точки и рассчитанная при $p = 10^6$ кривая в относительном масштабе

На рис. 4 результаты, полученные [3] в опыте с раствором $5 \cdot 10^{-4}$ M $K_2S_2O_8 + 2{,}5 \cdot 10^{-3} M Na_2SO_4 + 3 \cdot 10^{-5} M (C_4H_9)_4NJ$ при 20°, сравниваются с рассчитанной при $p = 10^6$ кривой. Из формул (20) и (12) для этого случая ($C_0 = 3 \cdot 10^{-8}$ моль/см³) $\nu = 0{,}75 \cdot 10^7$ см моль$^{-1}$сек$^{-1/2}$; $\omega = 2{,}25 \cdot 10^{-7}$ сек.$^{-1/2}$; $\sigma = 1{,}44 \cdot 10^9$ см²моль$^{-1}$в; $\Delta\psi_{1m} = 0{,}14$ в.

Автор выражает признательность акад. А. Н. Фрумкину за руководство работой.

Институт электрохимии
Академии наук СССР

Поступило
29 I 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] J. Weber, J. Koutecky. J. Koryta, Zs. Elektrochem., **63**, 583 (1959). [2] I. Kuta, J. Weber, J. Koutecky, Coll. Czechoslov. Chem. Comm., **25**, 2376 (1960). [3] А. Н. Фрумкин, О. А. Петрий, Н. В. Николаева-Федорович, ДАН, **135**, № 5 (1960). [4] В. Г. Левич, Физико-химическая гидродинамика, М., 1959, стр. 538. [5] А. Н. Фрумкин, В. С. Багоцкий, З. А. Иофа, Б. Н. Кабанов, Кинетика электродных процессов, М., 1952, стр. 209. [6] Я. П. Гохштейн, А. Я. Гохштейн, ДАН, **128**, 985 (1959). [7] Я. П. Гохштейн, А. Я. Гохштейн, ЖФХ, **34**, 1654 (1960).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н. С. ДРОЗДОВ

О ПРИРОДЕ ИНДУКЦИОННОГО ПЕРИОДА АВТООКИСЛЕНИЯ ЖИРОВ И ЖИРНЫХ КИСЛОТ

(Представлено академиком Б. А. Казанским 27 IX 1960)

Известно, что инициальной реакцией автоокисления жиров и жирных ислот является присоединение молекулярного кислорода к окисляющему я веществу с образованием перекисей (гидроперекисей), служащих исход ыми соединениями для дальнейшего автокаталитического цепного меха изма всего процесса автоокисления:

$$RH + O_2 \rightarrow ROOH;$$
$$ROOH + ROOH \rightarrow R^{\cdot} + ROO^{\cdot} + H_2O;$$
$$R^{\cdot} + O_2 \rightarrow ROO^{\cdot};$$
$$ROO^{\cdot} + RH \rightarrow ROOH + R^{\cdot}.$$

Действительно, для многих случаев автоокисления природных жиров жирных кислот в начале процесса наблюдается очень незначительное на астание скорости. Интервал между началом контакта окисляемого вещест а с кислородом и моментом, когда достигается достаточно высокая скорость кислительного процесса, носит название индукционного периода, так как этим термином связывают обычно представление о начальных реакциях бразования перекисей, которые затем, при достижении известной концент ации, автокаталитически ускоряют дальнейший процесс окисления. Та ой взгляд на природу индукционного периода широко распространен и при нимается многими исследователями.

Ряду авторов, однако, не удалось обнаружить периода индукции при кислении химически чистых веществ ([1]). В опытах изучения поглощения ислорода хорошо очищенной и свежеперегнанной олеиновой кислоты при 0—60° мы также не наблюдали индукционного периода ([2]). Это совпадает результатами работы Гамилтона и Олкотта ([3]),которые нашли,что при окис ении чистого метилолеата индукционный период не имеет места.

Отдельные исследователи считают ([1]), что особенно в случае окисления ировых веществ явление индукционного периода могло бы быть объяс ено наличием в них примесей природных ингибиторов (HA), легко окисля ющихся веществ, которые обрывают цепной процесс автоокисления:

$$ROO^{\cdot} + HA \rightarrow ROOH + A^{\cdot}$$

ли

$$R^{\cdot} + HA \rightarrow RH + A^{\cdot},$$

ак как $A^{\cdot}$ не может поддерживать цепную реакцию автоокисления.

В наших исследованиях установлено, что автоокисление ненасыщенных ирных кислот и жиров, не содержащих природных ингибиторов окисле ия, в интервале температур от 40 до 60° протекает без индукционного пе иода. При этом, уже в самых начальных стадиях процесса, кроме образо ания перекисей наблюдается быстрое накопление оксиэпоксисоединений. качестве примера может служить один из наших опытов автоокисления истой, не дающей реакции Крейса ([4]) олеиновой кислоты при 40°, резуль аты которого приведены на рис. 1. В этом опыте в процессе автоокисления

определялись: суммарное поглощение кислорода ([2]), пероксиды (по Вилеру), эпоксидный кислород ([5]) и кислород оксигрупп ([6]). Результаты определений приведены на рис. 1 в миллиграммах кислорода на 1 г олеиновой кислоты.

Как видно из рис. 1, поглощение молекулярного кислорода (кривая *1*), накопление эпоксидного кислорода (кривая *2*) и кислорода ОН-групп (кривая *3*) в продуктах автоокисления происходит без какого-либо индукционного периода. Если же судить по накоплению кислорода перекисей (кривая *4*), то можно прийти к выводу о наличии такого периода индукции.

Рис. 1

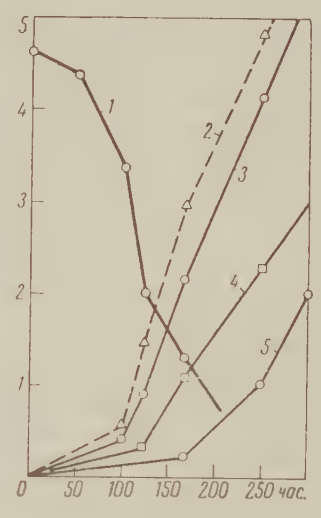
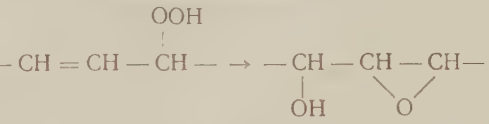


Рис. 2

Это объясняется тем, что в начальных стадиях процесса автоокисления, наряду с образованием перекисей, происходит, как видно из рис. 1, их быстрое превращение в оксиэпоксисоединения



которые и накапливаются в продуктах автоокисления. Благодаря такому превращению содержание перекисей в продуктах автоокисления за все время начальной стадии окисления остается на сравнительно низком уровне, причем кислород перекисей составляет лишь незначительную долю поглощенного кислорода. Главная же часть его находится в продуктах автоокисления в течение первичной фазы окисления в виде оксиэпоксисоединений. Поэтому нельзя судить о глубине и скорости процесса окисления по количеству образовавшихся перекисей и такой способ может привести лишь к обнаружению ложного индукционного периода.

При автоокислении жиров, содержащих вещества, входящие в состав фракции неомыляемых (и в том числе природные ингибиторы), почти весь окислительный процесс в самом начале сосредоточивается на этих дополнительных компонентах жира. В качестве примера такого типа автоокисления может служить опыт окисления рафинированного молочного жира, содержащего каротиноиды.

На рис. 2 приведены результаты опыта окисления такого жира с йодным числом 35,6. Опыт велся при 70° в среде воздуха и при полном отсутствии света. В процессе автоокисления определялись: каротиноиды (фотометрически), йодные числа по Розенмунду и Кунгенну ([7]), пероксиды (по Вилеру), эпоксидный кислород ([5]) и кислород оксигрупп ([6]). Результаты определений выражены: каротиноиды (кривая *1*) в гаммах каротина на 1 г жира; кислород ОН-групп (кривая *3*), эпоксигрупп (кривая *4*) и пероксидов (кривая *5*) — в миллиграммах кислорода на 1 г жира, а уменьшение йодных чисел (кривая *2*) в виде разности.

Из данных этого опыта видно, что с начала процесса и в продолжении 100 час. триглицериды жира окисляются лишь незначительно из-за того, что энергичному окислению подвергаются каротиноиды жира. Лишь после того, как окисление каротиноидов приближается к завершающей фазе, наблюдается резкое увеличение скорости окисления триглицеридов. Таким образом, наблюдаемый «индукционный период» обусловлен тем, что вначале происходит энергичное окисление каротиноидов, что и защищает на первых этапах триглицериды от окисления. При этом термин «индукция», естественно, теряет свой смысл, так как начальное торможение окисления триглицеридов в данном случае имеет совершенно другую природу.

Аналогичные результаты получены и в опытах автоокисления других природных жиров, содержащих каротиноиды, например бычьего жира, а также и при окислении смесей триглицеридов природного жира и каротиноов. Все эти результаты показывают, что в ряде случаев окисления триглицеридов природных жиров наблюдаемый индукционный период обусловлен окислением присутствующих в жире легко окисляющихся веществ фракции неомыляемых. Кроме того, из данных, полученных в указанных опытах автоокисления, очевидно, что при исследованиях, ограниченных наблюдениями над образованием какого-либо одного продукта автоокисления, например перекисей, может быть обнаружен ложный индукционный период. Поэтому необходимо не только определение поглощения кислорода и определение других продуктов автоокисления, но и изучение окисления всех главных компонентов сложной системы природного жира, и в том числе веществ фракции неомыляемых.

Московский государственный медицинский институт
им. Н. И. Пирогова

Поступило
26 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] К. Бейли, Торможение химических реакций, М., 1940. [2] Н. С. Дроздов, Т. П. Матеранская, Научн. докл. высш. школы, 1, № 3, 536 (1958). [3] L. Hamilton, H. Olcott, Oil and Soap, 13, 127 (1936); Ind. and Eng. Chem., 29, 1217 (1937). [4] Н. Дроздов, Н. Матеранская, ЖАХ, 7, 74 (1952). [5] Н. Дроздов, Т. Матеранская, Мясная индустрия, № 3, 50 (1954). [6] C. Ogg, W. Porter, Ind. and Eng. Chem., 17, 395 (1945). [7] K. W. Rosenmund, W. Kuhnhenn, Zs. Unters. Nahr. u. Genussmittel, 46, 154 (1923).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Е. А. ПШЕНИЧНОВ и Н. Д. СОКОЛОВ

ПРАВИЛО ПОЛЯНИ ДЛЯ ПЕРЕХОДОВ ПРОТОНА И ВОДОРОДНАЯ СВЯЗЬ

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 22 X 1960)

Связь между изменением энергии активации $\Delta\mathcal{E}$ и изменением теплоты реакции Δq для ряда однотипных реагирующих веществ, известная как правило Поляни,

$$\Delta\mathcal{E} = k\Delta q, \quad 0 < k < 1, \tag{1}$$

наблюдается для многих реакций, в которых определяющей стадией является переход протона от одной молекулы к другой ([1]): $A_H + B \rightarrow A_H \ldots B \rightarrow A^- \ldots H^{\pm}B \rightarrow A^- + H^{\pm}B$. Так как масса протона заметно меньше массы атомов A и B, то в первом приближении можно считать, что за время перемещения протона из одной потенциальной ямы в другую расстояние между A и B в комплексе с водородной связью A_H. . . B не изменяется. Обычно при этом само движение протона рассматривается как классическое. В соответствии с этим правило Поляни (1) трактуется как следствие того, что при переходе от одного вещества к другому точки потенциальной кривой для протона смещаются в одну и ту же сторону вдоль оси энергии, причем так, что смещение вершины потенциального барьера меньше смещения второго минимума, т. е. $\Delta U < \Delta Q$ (рис. 1, см., например, ([2])).

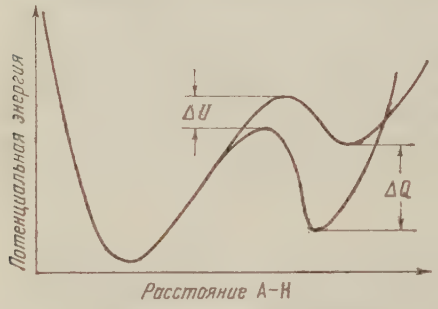


Рис. 1. Потенциальные кривые для переходов протона в системе A_H. . .B при двух различных B

В статье одного из нас ([3]) было показано, что пропорциональность между ΔU и ΔQ легко обосновать, если для ряда рассматриваемых веществ энергия системы A_H. . . B зависит только от одного мало изменяющегося параметра. Однако неравенство $\Delta U < \Delta Q$ чисто теоретически обосновать трудно. Более того, как будет видно из дальнейшего, факты свидетельствуют о том, что для процессов перехода протона это неравенство не выполняется, в то время как правило Поляни может оказаться справедливым.

Движение протона из одной потенциальной ямы в другую в действительности нельзя рассматривать классически. Энергия протона в двойной потенциальной яме квантована, и переход протона представляет собой, по-видимому, многостадийный процесс его ступенчатого возбуждения на один из колебательных уровней, расположенных несколько выше барьера, и затем «спуск» в основное состояние правой ямы. При этом энергия активации $\mathcal{E}$ (при абсолютной температуре $T = 0$) будет равна расстоянию между нулевым уровнем левой ямы и указанным промежуточным уровнем. Расстояние между нулевыми уровнями двух ям представляет собой теплоту реакции q (при $T = 0$). Для обоснования правила Поляни необходимо исследовать, как изменяются $\mathcal{E}$ и q для выбранного ряда веществ. Будем

предполагать, что этот ряд выбран так, что при эндотермическом направлении реакции q уменьшается (основность вещества B возрастает).

Нахождение уровней энергии в несимметричной двойной потенциальной яме в общем случае представляет собой задачу, связанную с большими математическими трудностями *. Соответствующее этой задаче одномерное уравнение Шредингера мы решали в квазиклассическом приближении в предположении, что протон движется в потенциальном поле $V(Z)$, имеющем следующую форму ** (см. рис. 2):

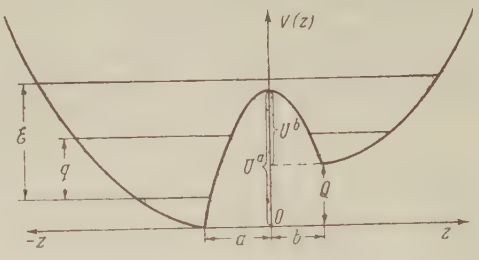


Рис. 2. Модель двойной несимметричной потенциальной ямы (формула (2))

$$\begin{aligned} V(Z) &= {}^1/_2\mu\omega_a^2(Z+a)^2, && -\infty < Z \leqslant -a; \\ V(Z) &= U^a[1-(Z/a)^2], && -a \leqslant Z \leqslant +b; \\ V(Z) &= {}^1/_2\mu\omega_b^2(Z-b)^2 + Q && +b \leqslant Z < +\infty \end{aligned} \qquad (2)$$

$$(Q \equiv U^a[1-(b/a)^2]).$$

Здесь μ — приведенная масса протона; U^a — высота потенциального барьера, отсчитываемая от минимума более глубокой потенциальной ямы (a); смысл параметров a и b ясен из рис. 2. Вместо независимых параметров a, b и U^a введем следующие безразмерные величины: $U_0^a = U^a/\hbar\omega_a$, $\rho_0 = (a/2h)\cdot\sqrt{2\mu U^a}$, $s = b/a$. Введем также обозначения: $Q_0 = Q/\hbar\omega_a$, $U_0^b = (U^b/\hbar\omega_a) = U_0^a - Q_0$, $E_0 = E/\hbar\omega_a$ (E — энергия). Расчет проводился в предположении, что частоты ω_a и ω_b равны.

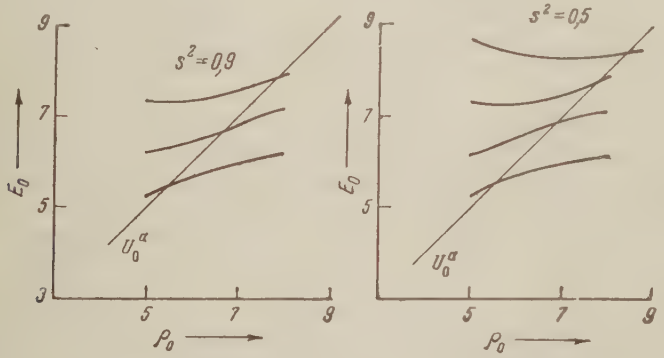


Рис. 3. Зависимость уровней энергии E_0 от $\rho_0 (= U_0^a)$ при $s = \text{const}$

Чтобы проследить за изменением относительного положения уровней энергии в зависимости от параметров ρ_0 и U_0^a, будем изменять последние одновременно таким образом, чтобы выполнялось равенство $\rho_0 = U_0^a$, т. е. чтобы сближение минимумов потенциальной кривой (уменьшение a) сопровождалось одновременным понижением высоты потенциального барьера U^a. Можно ожидать, что именно такая ситуация осуществляется в действительности, например, при переходе от слабых оснований к более сильным. В даль-

* Блинк и Хаджи (4) решали эту задачу, представив волновую функцию протона в виде линейной комбинации волновых функций двух гармонических осцилляторов, каждый из которых отвечал соответствующей потенциальной яме.

** Для построения квазиклассической функции, справедливой вблизи вершины потенциального барьера, мы воспользовались тем обстоятельством, что для барьера параболической формы известно точное решение волнового уравнения. Подробное изложение метода решения см. (5).

нением, для краткости, мы будем говорить просто о сближении минимумов. Значения энергии $E_{0,n}(\rho_0, U_0^a, s)$, полученные в результате решения задачи, представлены графически на рис. 3 и 4. Значения $E_{0,n}$, отложенные по оси ординат, отсчитываются от более глубокого минимума (*a*). На вертикальной оси отложены также значения параметра $U_0^a = \rho_0$. При этом точки кривых энергии, лежащие на наших графиках ниже (выше) прямой $U_0^a = \rho_0$,

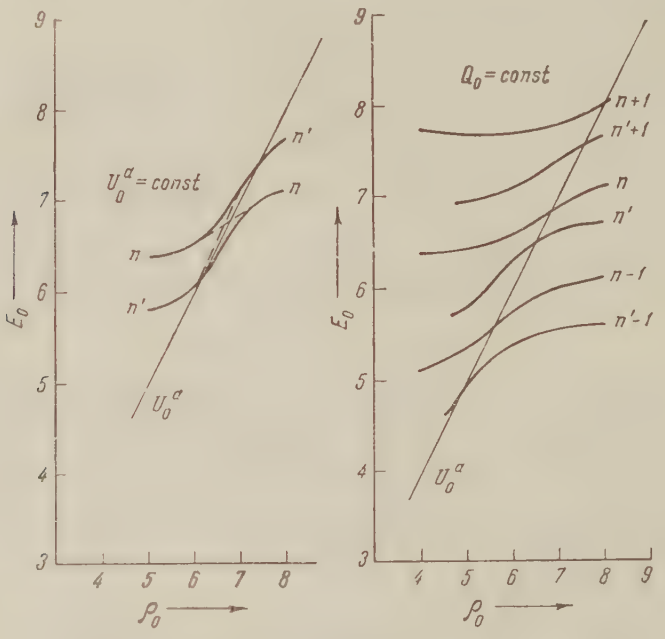


Рис. 4. Зависимость уровней энергии E_0 от $\rho_0 (= U_0^a)$

соответствуют, очевидно, таким значениям параметра ρ_0, при которых вычисленные $E_{0,n}$ лежат ниже (выше) вершины барьера. На рис. 3 для $s^2 = 0{,}9$, и $s^2 = 0{,}5$ показано поведение некоторых уровней, выбранных из тех, для которых «материнской» является более глубокая потенциальная яма (*a*) (эти уровни относятся к яме (*a*) при разведении минимумов на бесконечность). На рис. 4 приведены кривые $E_{0,n}$ для двух случаев: в предположении, что $U_0^b = \text{const}$, и в предположении $Q_0 = \text{const}$. При вычислениях варьировались одновременно три параметра: ρ_0, U_0^a и s. Номера со штрихом относятся к уровням, для которых «материнской» является потенциальная яма (*b*).

Согласно обычной трактовке ([1-3]) для прямого процесса A_H . . .B → → A⁻ . . .H_B между высотой потенциального барьера U^a и величиной Q имеется соотношение

$$\Delta U^a = k' \Delta Q. \tag{3}$$

Для объяснения правила Поляни следует предположить, что $0 \leq k' \leq 1$. В силу того, что $U^a = U^b + Q$, из (3) следует

$$\Delta U^b = -(1 - k') \Delta Q, \tag{4}$$

т. е. с уменьшением Q высота барьера для обратного процесса увеличивается. Это утверждение не согласуется, однако, с данными по колебательным спектрам водородной связи. Действительно, согласно Барроу ([6]) в спектрах ряда комплексов A_H . . .B, при достаточно сильном основании B, появляется дополнительная частота ν', возникающая вследствие расщепления уров-

ней двух потенциальных ям, и интенсивность которой увеличивается при переходе к более сильным основаниям. Эта частота на рис. 4 соответствует переходу с основного уровня $E_{осн}$ ямы (a) (на рисунке не воспроизведен) на возбужденный штрихованный уровень. Согласно экспериментальным данным ν' оказывается меньше «нештрихованной» частоты ν, причем разность $\Delta\nu = \nu - \nu'$ при переходе к более сильным основаниям уменьшается. В рамках нашей модели такая закономерность получается только в том случае, если при уменьшении ρ_0 обе величины U^b и Q уменьшаются, т. е. U^a падает быстрее, чем Q. Так, согласно рис. 4, при $U_0^b = \text{const}$ с уменьшением ρ_0 штрихованный уровень понижается быстрее нештрихованного, причем при больших ρ_0 (в интересующей нас области правее прямой $U_0^a = \rho_0$, т. е. ниже вершины потенциального барьера) $\nu' > \nu$, что противоречит экспериментальным данным. В другом предельном случае, когда $Q_0 = \text{const}$ получаются качественно согласующиеся с этими данными знак и ход $\Delta\nu$ для каждого обертона в своей области изменения ρ_0 (кривые n и n'; $n - 1$ и $n' - 1$). Более быстрое падение U^a по сравнению с Q при уменьшении ρ_0 означает, что укорочение водородной связи при переходе к более сильному основанию сильнее влияет на высоту барьера, чем на положение минимума (b) вследствие чего оказывается $k' > 1$ (см. (3) и (4)).

Правило Поляни (1) можно обосновать следующим образом. Прежде всего заметим, что энергетические уровни при сближении минимумов сначала понижаются, а затем начинают постепенно возрастать (рис. 3 и 4). Низкие уровни ведут себя подобно более высоким, но их заметное изменение начинается при меньших ρ_0. Как показали расчеты, понижение уровня, непосредственно предшествующее достижению им минимального значения, имеет место в той области изменения ρ_0 (для каждого уровня своя область ρ_0), где квантовые эффекты надбарьерного отражения малы. Переход протона из одной ямы в другую происходит именно через такой уровень (обозначим его через E_m). Ясно, что в среднем наклон этих уровней в указанной области изменения ρ_0 будет меньше, чем для нижних штрихованных уровней, которые достигают своих минимальных значений при меньших ρ_0 (см., например, на рис. 4 уровни n и $n' - 1$ в интервале $4 < \rho_0 < 6$). Поэтому можно написать $\partial E_m/\partial\rho_0 < \partial E_{l'}/\partial\rho_0$, $m > l'$. Так как $\mathscr{E} = E_m - E_{осн}$, $q = E_{l'} - E_{осн}$, то $\Delta\mathscr{E} = [(\partial E_m/\partial\rho_0) - (\partial E_{осн}/\partial\rho_0)]\,\Delta\rho_0$ и $\Delta q = [(\partial E_{l'}/\partial\rho_0) - (\partial E_{осн}/\partial\rho_0)]\Delta\rho_0$. Здесь l' — номер нижнего уровня ямы (b). Из этих равенств находим:

$$\frac{\Delta\mathscr{E}}{\Delta q} = \left(\frac{\partial E_m}{\partial\rho_0} - \frac{\partial E_{осн}}{\partial\rho_0}\right) \Big/ \left(\frac{\partial E_{l'}}{\partial\rho_0} - \frac{\partial E_{осн}}{\partial\rho_0}\right) = k < 1, \qquad (5)$$

где k приблизительно постоянно. Если $E_{осн}$ лежит заметно ниже основного уровня правой ямы (b), то изменение в положении последней мало скажется на положении $E_{осн}$, т. е. $(\partial E_{осн}/\partial\rho_0) \simeq 0$, и, следовательно, $k > 0$. При этом условии формула (5) выражает правило Поляни.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило
18 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] J. Horiuti, M. Polanyi, Acta Physicochim. URSS, **2**, 505 (1935); R. P. Bell, Acid-base Catalysis, Oxford, 1941. [2] R. D. Brown, Quart. Rev., **6**, 63 (1952). [3] Н. Д. Соколов, ДАН, **112**, 710 (1957). [4] R. Blinc, D. Hadži, Molecular Physics, **1**, 391 (1958). [5] Е. А. Пшеничнов, Н. Д. Соколов, Оптика и спектроскопия, **10**, № 5 (1961). [6] C. L. Bell, G. M. Barrow, J. Chem. Phys., **31**, 300 (1959); **31**, 1158 (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Член-корреспондент АН СССР И. Е. СТАРИК, И. А. СКУЛЬСКИЙ
и В. Н. ЩЕБЕТКОВСКИЙ

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ ЦИРКОНИЯ В СВЯЗИ С АДСОРБЦИЕЙ ЕГО НА ФТОРОПЛАСТЕ-4

Ранее нами было показано, что коэффициент распределения циркония-95 между раствором и неионогенной поверхностью фторопласта-4 уменьшается при увеличении концентрации HCl и зависит от природы катионов хлоридов первой группы. При постоянной ионной силе адсорбция циркония-95 возрастала в ряду (рис. 1):

$$Li^+ \ll H^+ \ll Na^+ < K^+ < NH_4^+ .$$

Уменьшение адсорбции циркония-95 при увеличении концентрации HCl объяснялось уменьшением степени гидролиза циркония и возрастанием доли хлор-ионов в нейтральных комплексах типа $[Zr(OH)_xCl_{4-x}]$, которые адсорбировались на фторопласте-4. Естественно было предположить, что влияние природы катионов на величину адсорбции также обусловлено различиями в степени гидролиза и комплексообразования циркония с хлор-ионами в растворах соответствующих хлоридов. Известно, что активная концентрация HCl возрастает в ряду KCl<NaCl<>LiCl, и, следовательно, степень гидролиза циркония в этом направлении должна уменьшаться. Для выяснения влияния природы катионов на комплексообразование Zr с Cl^--ионами нами был применен метод спектрофотометрии.

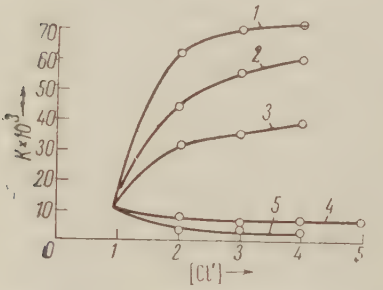


Рис. 1. Зависимость адсорбции циркония-95 на фторопласте-4 из 1 *N* HCl от концентрации хлоридов первой группы. *1* — NH_4Cl, *2* — KCl, *3* — NaCl, *4* — HCl, *5* — LiCl. $K = Г/C$, где Г — г-ат. Zr на 1 см², *C* — г-ат. Zr на 1 мл

Измерения производились на спектрофотометре СФ-4. Все реактивы тщательно перекристаллизовывались или перегонялись. Для приготовления растворов использовался спектрально чистый оксихлорид циркония. Приведенные ниже данные соответствуют равновесным растворам и выражены в виде оптической плотности или молярного коэффициента экстинкции.

Как видно из рис. 2, в 2*N* хлорной кислоте, где цирконий находится главным образом в виде ионов ZrO^{2+} или Zr^{4+} поглощение весьма незначительно. В соляной кислоте оптическая плотность растворов циркония возрастает вследствие образования комплексов $ZrCl_x^{(4-x)+}$. В 8*N* и 9*N* HCl на спектре поглощения появляется максимум в области 220—225 мμ, соответствующий, вероятно, образованию комплексов $ZrCl_5^-$ и $ZrCl_6^{2-}$.

Таким образом, интегральная величина оптической плотности хлоридных растворов циркония в области 213—250 мμ характеризует степень закомплексованности циркония с хлор-ионами.

На рис. 3 и 3*а* приведены спектры поглощения циркония в растворах хлоридов первой группы. Различия в спектрах особенно заметны в области коротких волн и показывают, что интенсивность комплексообразования уменьшается в ряду:

$$H^+ > Li^+ > Na^+ > K^+ > NH_4^+ .$$

Таблица 1

Оптическая плотность хлоридных растворов циркония в присутствии катионов первой группы (концентрация циркония $2 \cdot 10^{-2}$ *M*)

Состав раствора	$D \cdot 10^3$ при $\lambda = 214$ мμ	Состав раствора	$D \cdot 10^3$ при $\lambda = 214$ мμ
$\mu = 2{,}2$		$\mu = 3{,}0$	
2 2*N* HCl	192	3,0*N* HCl	525
0,2*N* HCl + 2,0*N* LiCl	113	1,0*N* HCl + 2,0*N* LiCl	180
0,2*N* HCl + 2,0*N* NaCl	62	1,0*N* HCl + 2,0*N* NaCl	125
0,2*N* HCl + 2,0*N* KCl	54	1,0*N* HCl + 2,0*N* KCl	114
0,2*N* HCl + 2,0*N* NH_4Cl	44	1,0*N* HCl + 2,0*N* NH_4Cl	98

В табл. 1 приведены значения оптической плотности более концентрированных растворов циркония. Ряд катионов сохраняется. Следовательно, интенсивность комплексообразования циркония с хлор-ионами зависит от природы катионов нейтральных солей.

Оптические плотности растворов Zr в NaCl, KCl, NH_4Cl весьма близки друг к другу. Отчетливая зависимость величины адсорбции циркония от его состояния проявляется в данном случае для двух групп растворов: NaCl, KCl, NH_4Cl, с одной стороны, и HCl, LiCl — с другой. При увеличении концентрации NaCl, KCl, NH_4Cl адсорбция циркония (рис. 1), по сравнению с адсорбцией его из чистой кислоты, возрастает, в то время как добавление HCl и LiCl уменьшает адсорбцию. По-видимому, в растворах NaCl, KCl, NH_4Cl образование комплексов циркония с хлор-ионами происходит главным образом за счет свободных валентностей, без вытеснения гидроксильных групп из внутренней сферы комплексов. Это приводит к увеличению доли нейтральных форм циркония в растворе при сохранении их адсорбционной способности. Адсорбция циркония возрастает (эффект «высаливания»).

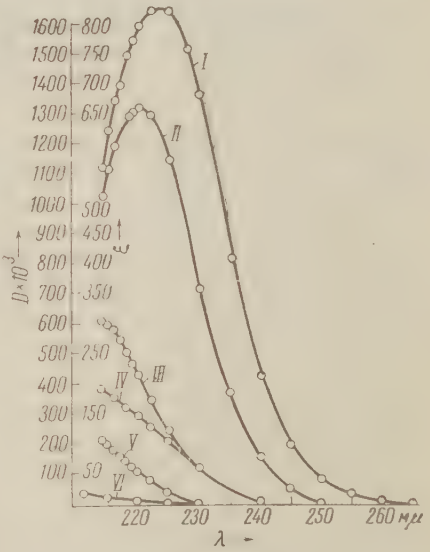


Рис. 2. Спектры поглощения растворов циркония ($2 \cdot 10^{-3}$ *M*) в соляной и хлорной кислоте. *I* — 9 *N* HCl, *II* — 8 *N* HCl, *III* — 6 *N* HCl, *IV* — 2 *N* HCl, *V* — 1 *N* HCl, *VI* — 2 *N* $HClO_4$. *D* — оптическая плотность; ε — молярный коэффициент экстинкции

При увеличении концентрации HCl и LiCl комплексообразование циркония сопровождается, вероятно, значительным уменьшением степени его гидролиза и уменьшением адсорбционной способности образующихся нейтральных комплексов.

При равной концентрации хлор-ионов в растворах NaCl, KCl и NH_4Cl величина адсорбции циркония значительно выше, чем в растворах HCl и

LiCl. Это согласуется с данными спектрофотометрии, показывающими, что в присутствии Na^+, K^+ и NH_4^+ степень закомплексованности циркония с

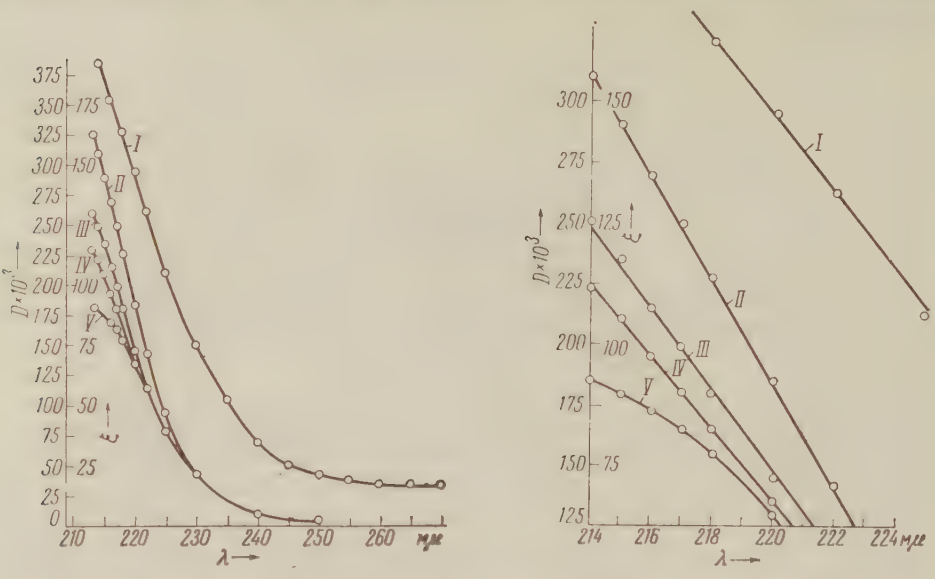


Рис. 3. Спектры поглощения хлоридных растворов циркония ($2 \cdot 10^{-3}$ M, $\mu = 2$). *I* — 2 *N* HCl; *II* — 0,2 *N* HCl + 1,8 *N* LiCl; *III* — 0,2 *N* HCl + 1,8 *N* NaCl, *IV* — 0,2 *N* HCl + 1,8 *N* KCl; *V* — 0,2 *N* HCl + 1,8 *N* NH_4Cl. *D* — оптическая плотность; ε — молярный коэффициент экстинкции. (На рис. 3 справа часть спектров представлена в увеличенном масштабе)

хлор-ионами значительно ниже, чем в растворах, содержащих ионы H^+ и Li^+.

Радиевый институт им. В. Г. Хлопина
Академии наук СССР

Поступило
19 XII 1960

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. Н. ХАРИН и Н. А. КАТАЕВА

МЕХАНИЗМ ПЕРЕНОСА ЙОДА ПРИ ВНУТРИДИФФУЗИОННОЙ КИНЕТИКЕ АДСОРБЦИИ ЕГО НА УГЛЯХ ИЗ РАЗНЫХ РАСТВОРИТЕЛЕЙ

(Представлено академиком М. М. Дубининым 8 X 1960)

В отличие от газов [1], механизм переноса растворенных веществ в пористых сорбентах почти не изучен.

Нами изучался перенос молекулярного йода при внутридиффузионной кинетике адсорбции его из разных растворителей на разных углях. Раство-

Таблица 1

Угли	БАУ	КАД	АГ	Угли	БАУ	КАД	АГ
Гравиметрический удельный вес Δ, г/см³	0,21	0,35	0,52	Объем пор $= 1/\delta - 1/\rho$, см³/г	2,30	1,01	0,63
Кажущийся удельный вес δ, г/см³	0,35	0,64	0,88	Пористость $= (\rho - \delta)/\rho$	0,805	0,65	0,55
Истинный удельный вес ρ, г/см³	1,80	1,82	1,98	Объем микропор *: в см³/г	0,180	0,193	0,196
Объем одного грамма угля $1/\sigma$, см³/г	2,85	1,56	1,14	в процентах	7,8	19,1	31,8
				Зола, %	0,2	10,3	6,3
				Влага, %	0,67	1,87	3,80

* Этот объем вычислялся по отношению: $126{,}9\, a_{\text{макс}}/4{,}93 \cdot 1000$, где $a_{\text{макс}}$ вычислены из изотерм адсорбции йода из воды (см. табл. 2) при равновесной концентрации $y = 2{,}3$ мг-экв/л, равной растворимости йода в воде при 20° (см. табл. 3).

рителями служили обезвоженные и перегнанные C_2H_5OH, C_6H_6 и CCl_4, также дистиллированная вода. Адсорбентами были угли БАУ, КАД и АГ. Угли БАУ и АГ отмывались соляной кислотой, и АГ дополнительно окислялся йодом. Затем они отмывались водой и прокаливались в муфельной печи при 800—850° до угара 40% — БАУ и 40% — АГ (до полного исчезновения HCl и J_2 в отходящих газах). КАД не подвергался обработке. Все угли отсеивались и сушились при 100°. Работа проводилась с фракциями средним диаметром зерен 0,25 см.

Таблица 2

При адсорбции йода	На БАУ		На КАД		На АГ	
	z	y_1	z	y_1	z	y_1
H_2O	7,31	0,063	8,05	0,21	10,12	0,75
C_2H_5OH	1,13	1,22	1,00	0,23	0,95	0,52
C_6H_6	1,54	0,72	1,22	0,30	0,95	0,30
CCl_4	2,85	0,23	1,61	0,38	1,60	0,69

Статика адсорбции йода была изучена ранее описанными методами [2,3] при температуре 18—23°. Результаты равновесной адсорбции (по анализам йода на углях БАУ и АГ) приведены на рис. 1. Если на том же рис. 1 отложить изотермы адсорбции, полученные на угле КАД, то они легли бы между соответствующими изотермами, полученными на углях БАУ и АГ. В табл. 2 приведены константы (z и y_1) уравнений Лэнгмюра $a = zy/(y_1 + y)$, найденные по опытным точкам методом наименьших квадратов (z в мг-экв/г; y_1 в мг-экв/л).

В табл. 3 приведены значения статической адсорбции йода a_0 из всех растворителей при равновесной концентрации $C_0 \sim 1$ мг-экв/л, выбранной для проведения кинетических опытов, которые производились также при

Таблица 3

Диффузия йода в зернах углей

Уголь	Среда	Теплота смачив. при 20°, кал/г	Равновесная адс. a_0, $\frac{\text{мг-экв}}{\text{г}}$	$D_{эф}$, $\frac{\text{см}^2}{\text{сек}} \cdot 10^7$	Время 1/2 насыщен., мин.	$\Gamma = \frac{a_0\delta}{C_0}$	$\frac{D_{ж}\varepsilon}{\Gamma}$, $\frac{\text{см}^2}{\text{сек}} \cdot 10^7$	$\frac{D_a\Gamma}{D_{ж}\varepsilon}$	D_a, $\frac{\text{см}^2}{\text{сек}} \cdot 10^7$
БАУ	H_2O	7,3	6,88	0,265	300	2750	0,038	5,0	0,227
	C_2H_5OH	18,0	0,93	0,245	325	371	0,24	—	—
	C_6H_6	19,8	1,09	0,271	294	436	0,36	—	—
	CCl_4	12,6	2,32	0,083	960	930	0,12	—	—
КАД	H_2O	11,2	6,65	0,230	346	4250	0,020	9,5	0,210
	C_2H_5OH	19,2	0,81	0,072	1100	519	0,14	—	—
	C_6H_6	19,2	0,94	0,083	960	602	0,21	—	—
	CCl_4	16,7	1,17	0,083	960	750	0,12	—	—
АГ	H_2O	12,3	5,78	0,210	380	5090	0,014	12,9	0,196
	C_2H_5OH	19,8	0,62	0,040	1980	547	0,11	—	—
	C_6H_6	22,8	0,72	0,066	1200	633	0,17	—	—
	CCl_4	19,7	0,95	0,080	1000	830	0,09	—	—
Коэффициент диффузии йода при 20° $D_{ж} \cdot 10^5$						В H_2O, ~ 1,3	C_2H_5OH, ~ 1,1	C_6H_6, 1,95	CCl_4 1,36
Растворимость йода при 20° в мг-экв/л						2,3	1698,2	946,0	190,4

18—23°. Навески углей (0,1 г в воде и 0,4 г в других растворителях), прокипяченные в соответствующем растворителе, переносились в склянки с притертыми пробками емкостью 2,5 л и заливались 1,5 л раствора йода с концентрацией 1 мг-экв/л. Склянки закреплялись в ящике, который мог вращаться вокруг горизонтальной оси мотором с редуктором. Так достигались оптимальные условия подачи йода к зернам углей, и можно было считать режим насыщения внутридиффузионным. Наши опыты проведены при 60 об/мин. Для поддержания начальной концентрации йода через определенные промежутки времени жидкость над углем сменялась новой порцией исходного раствора йода. По прошествии определенного времени уголь переносился в ступку и в нем определялся адсорбированный йод, как описано раньше ([2], [3]). Отклонения определений от средних были около ±5 %. Средние результаты насыщения (a) углей БАУ и АГ во времени приведены на рис. 2, а относительные насыщения a/a_0 всех углей — на рис. 3. По этим кривым найдены времена половинного насыщения (t), отвечающие $a/a_0 = 0{,}5$, и по ним методом последовательных приближений вычислены эффективные коэффициенты внутренней диффузии ($D_{эф}$) из уравнения

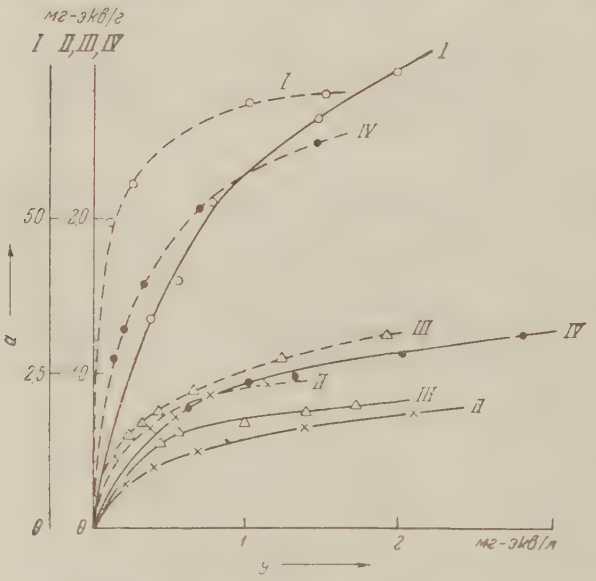


Рис. 1. Статика адсорбции йода на угле БАУ (линии штрихами) и на угле АГ (сплошные линии). *I* — из H_2O, *II* — из C_2H_5OH, *III* — из C_6H_6, *IV* — из CCl_4

$$a/a_0 = 1 - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{1}{n^2} \cdot e^{-\frac{n^2\pi^2 D_{эф} t}{R^2}}, \qquad (1)$$

причем бралось не менее 4 членов ряда (см. табл. 3). В табл. 3 приведены теплоты смачивания углей растворителями, которые были определены в маленьких сосудиках Дьюара с помощью бусинкового термистора типа Т8С2 с отклонениями от среднего значения порядка 0,3—0,4 кал/г.

Как видно, тепловые эффекты смачивания углей каждой жидкостью растут от угля БАУ к АГ. Теплоты смачивания водой меньше, чем неводными жидкостями. От БАУ к АГ растет объем микропор, доступных для йода, а общая пористость резко уменьшается (табл. 1). Значения a_0 умень-

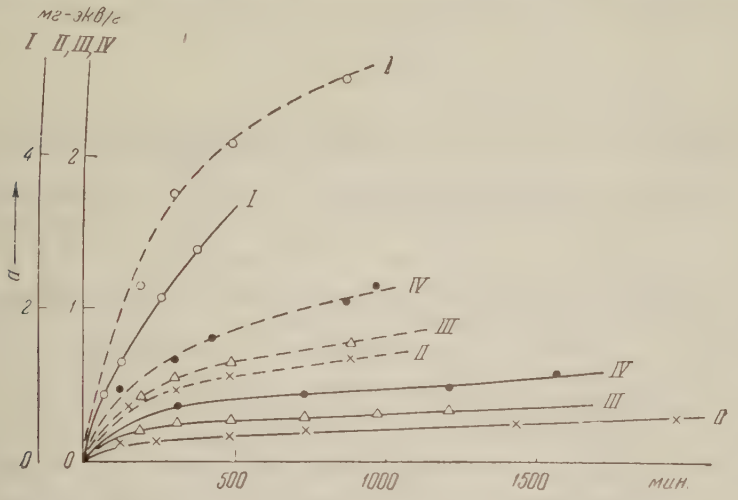


Рис. 2. Кинетика адсорбции йода на углях БАУ и АГ (обозначения те же, что на рис. 1)

шаются от БАУ к АГ в направлении, обратном изменению теплот смачивания. На каждом угле a_0 уменьшаются по ряду растворителей: H_2O, CCl_4, C_6H_6, C_2H_5OH (см. также рис. 1) в соответствии с правилом об уменьшении адсорбции с увеличением растворимости вещества в данном растворителе (табл. 1). Кривые $a = f(t)$ для каждого угля проходят одна над другой тоже в соответствии со статикой адсорбции (рис. 2), а в кривых относительного насыщения $a/a_0 = f(t)$ (рис. 3) имеются особенности, связанные с пористостью углей.

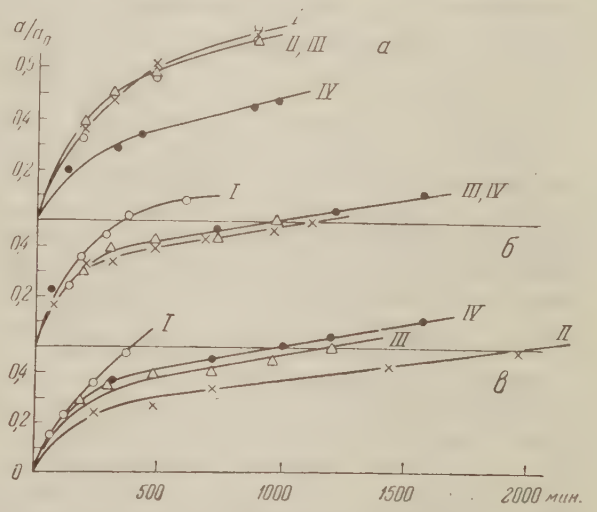


Рис. 3. Кинетика относительного насыщения углей йодом: для БАУ (*а*), для КАД (*б*) и для АГ (*в*) (обозначения те же, что на рис. 1)

Если по Дамкелеру ([4]) положить, что перенос йода в зернах по стенкам пор идет с коэффициентом диффузии D_a и в объеме пор в жидкости, заполняющей поры, — с коэффициентом $D_п$, то при $\Gamma \gg 1$ можно записать:

$$D_{эф} = \frac{D_п}{\Gamma} + D_a = \frac{D_п}{\Gamma}\left(1 + \frac{D_a\Gamma}{D_п}\right). \qquad (2)$$

Отношение $\frac{D_a\Gamma}{D_п}$ является критерием участия переноса вещества по стенам пор относительно переноса в объеме пор ([1]). Полагая, что диффузия в объеме, по крайней мере, макропор идет как в свободной жидкости, где коэффициент диффузии $D_ж$, можно написать

$$D_п = D_ж\varepsilon, \qquad (3)$$

где ε — эффективная пористость зерен, заполненных жидкостью; Г — коэффициент адсорбции, характеризующий в наших опытах емкость 1 мл зерен угля в отличие от обычной характеристики емкости адсорбента в 1 мл колонки с шихтой. В наших опытах $\Gamma = a_0\delta/C_0$ (4), где δ — кажущийся удельный вес угля. Используя (2) и (3), напишем:

$$D_{эф} = \frac{D_ж \varepsilon}{\Gamma}\left(1 + \frac{D_a \Gamma}{D_ж \varepsilon}\right). \qquad (5)$$

Полагая, что при адсорбции йода из воды эффективная пористость углей будет мало отличаться от вычисляемой по удельным весам, мы нашли, пользуясь значениями ε из табл. 1, значения: $\frac{D_ж \varepsilon}{\Gamma}$, $\frac{D_a \Gamma}{D_ж \varepsilon}$ и D_a (табл. 3).

При адсорбции йода из воды всегда $\frac{D_ж \varepsilon}{\Gamma}$ значительно меньше $D_{эф}$, а D_a велики и немного уменьшаются от БАУ к АГ. Критерий поверхностного переноса $\frac{D_a \Gamma}{D_ж \varepsilon}$ сильно возрастает от БАУ к АГ, потому что с уменьшением пористости углей значение $\frac{D_ж \varepsilon}{\Gamma}$ уменьшается почти в 3 раза.

При адсорбции из неводных сред, наоборот, $D_{эф}$ оказались меньше $\frac{D_ж \varepsilon}{\Gamma}$. Очевидно, молекулы этих жидкостей, адсорбируясь сами, образуют разной толщины адсорбционные слои, вследствие чего тормозится перенос не только по стенкам пор (D_a близки к 0), но замедляется диффузия и по объему пор за счет «уменьшения свободных просветов пор». Возможно, что в этом замедлении сказывается необходимость вытеснения жидкостей из пор при диффузии в них йода. Если принять $D_a \simeq 0$ в опытах с бензолом, то, приравнивая $\frac{D_ж \varepsilon'}{\Gamma} \simeq D_{эф}$, можно найти эффективную пористость углей ε′. Для БАУ, КАД и АГ она оказалась равной: 0,60; 0,26; 0,20, а отношение $\frac{\varepsilon}{\varepsilon'}$ — 1,34; 2,50 и 2,75, т. е. для менее пористых углей влияние C_6H_6 на «уменьшение просветов пор», естественно, оказалось большим.

Благодаря различию основного механизма переноса йода в порах углей при адсорбции из воды и из неводных жидкостей, очень различно сказывается влияние пористости углей. При адсорбции из воды $D_{эф}$ мало зависят от пористости, так как перенос в основном идет по стенкам пор, а D_a, оказалось, мало зависят от рода углей. При адсорбции из C_6H_6 (и из спирта) $D_{эф}$ сильно зависят от рода угля, так как в этих случаях главным видом переноса является диффузия по объему пор, определяемая значением $\frac{D_ж \varepsilon'}{\Gamma}$, которое от угля к углю может изменяться в несколько раз. По-видимому, при адсорбции йода из CCl_4 поверхностный перенос не совсем утрачивает значение, как в случае адсорбции из C_6H_6 и из C_2H_5OH, благодаря чему различия $D_{эф}$ на разных углях оказались сглаженными.

Во внутридиффузионном переносе йода при адсорбции его из воды на углях главным видом является поверхностный перенос (по стенкам пор). Этот механизм теряет свое значение при адсорбции йода из неводных сред (CCl_4, C_2H_5OH и C_6H_6), особенно из бензола и спирта. В этих случаях преобладает диффузия йода по объему пор, вследствие чего эффективные коэффициенты диффузии могут сильно изменяться для разных углей в зависимости от их эффективной пористости и адсорбционной способности.

Таганрогский радиотехнический институт

Поступило
5 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Д. П. Тимофеев, Усп. хим., **29**, № 3, 404 (1960). [2] А. Н. Харин, Л. Г. Свинцова, ЖФХ, **30**, № 8, 1776 (1956). [3] А. Н. Харин, В. И. Верещагин, ЖФХ, **32**, № 8, 1878 (1958). [4] G. Damköhler, Zs. phys. Chem., **A174**, 222 (1935).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Член-корреспондент АН СССР П. П. БУДНИКОВ, С. М. РОЯК и А. М. ДМИТРИЕВ

К ВОПРОСУ О СОСТАВЕ ВЯЖУЩЕГО, ТВЕРДЕЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР И ДАВЛЕНИЙ

Наши предыдущие теоретические и экспериментальные исследования [1-3]) показали, что в составе цемента, твердеющего в условиях высоких емператур и давлений, должны отсутствовать алюминатные соединения.

Было определено, что низкоосновные гидросиликаты кальция определяют технические свойства и являются долговечными носителями прочности цементного камня, образующегося в условиях температур до 200° и давления до 700 ати. Низкоосновные гидросиликаты кальция — тоберморит ($C_4S_5H_5$), сонотлит ($CSH_{0,18}$) и гидросиликат CSH(B) — бразуются в указанных условиях высокой емпературы и давления либо при гидратации смеси клинкерных минералов C_3S (алита) C_2S (белита) с высококремнеземистым компонентом, либо при взаимодействии извести кварцевого песка.

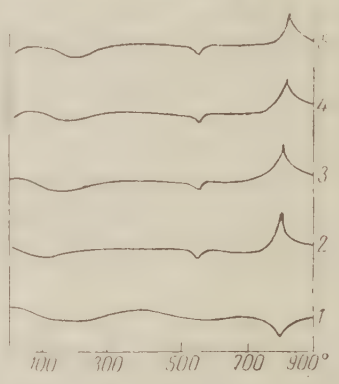


Рис. 1. Термограммы образцов из белитового компонента (β-C_2S) и чистого кварцевого песка, автоклавированных при 200° и 700 ати в течение суток. *1* — 100% белитового компонента (β-C_2S); *2* — 70% C_2S + 30% SiO_2; *3* — 50% C_2S + 50% SiO_2; *4* — 30% C_2S + 70% SiO_2; *5* — 15% C_2S + +85% SiO_2

Однако применение смеси извести и кварцевого песка при высоких температурах и давлениях без специальных, дефицитных замедлителей схватывания невозможно.

Строение кристаллической решетки C_3S алита) также способствует быстрому схватыванию цементной пульпы на его основе ([4]). ишь β-C_2S (белит) является минералом, оторый медленно гидратируется даже при 00° и 700 ати, образуя в смеси с высокоремнеземистым компонентом низкоосновные ормы гидросиликатов кальция.

В связи с этим в 1959—1960 гг. в Научно-исследовательском институте цемента были зучены технические свойства цементного амня, полученного из смеси β-C_2S с кварцевым песком в условиях твердения при 200, 250, 300 и 700 ати, сняты ривые дифференциального термографического анализа (д. т. а.) продуктов гидратации и определены сроки схватывания цементной пульпы непосредственно при высоких температурах и давлении. В качестве белитовой составляющей смеси применялся дешевый материал, почти полностью остоящий из β-C_2S.

Для исследований белитовый компонент и одна из высококремнеземистых добавок — кварцевый песок — измельчались в лабораторных шаровых мельницах соответственно до удельной поверхности $S = 2700$ см²/г $S = 2000$ см²/г, по Товарову. Смеси затворялись на подобранном количестве воды при расплыве 17 см. Сроки схватывания определялись на приборе непосредственно в автоклаве при 200° и 700 ати. Время начала и конца ватывания измерялось от момента погружения смеси в автоклав при 90°.

Таблица 1

№ п. п.	Состав смеси, %		Водо-цементное отношение	Начало схватывания	Конец схватывания	Прочность, кГ/см²			
	белитовый компонент β-C_2S	кремне-земистый компонент				Продолжительность автоклавирования, сутки			
						1	2	3	7
				При 200° и 700 ати					
1	10	90	0,39	—	—	45 / —			
2	15	85	0,39	2 ч. 40 м.	—	92 / —			
3	20	80	0,39	2 ч. 20 м.	3 ч. 30 м.	143 / —			
4	30	70	0,39	1 ч. 40 м.	—	303 / —	63* / 243	67* / 235	90* / 242
5	50	50	0,39	—	2 ч. 25 м.	513 / —			
6	70	30	0,39	1 ч. 30 м.	2 ч. 05 м.	484 / —			
7	80	20	0,39	1 ч. 50 м.	2 ч. 10 м.	—			
8	100	0	0,4	1 ч. 45 м.	2 ч. 23 м.	288 / —			
				При 250° и 700 ати					
9	15	85	0,39	—	—	59 / —			
10	30	70	0,39	—	—	166 / —			
11	50	50	0,39	—	—	271 / —			
12	70	30	0,39	—	—	398 / —			
13	100	0	0,4	—	—	138 / —			
				При 300° и 700 ати					
14	10	90	0,39	1 ч. 40 м.	2 ч. 20 м.	26 / —			
15	15	85	0,39	1 ч. 30 м.	1 ч. 55 м.	43 / —			
16	20	80	0,39	1 ч. 20 м.	1 ч. 42 м.	77 / —			
17	30	70	0,39	1 ч. 00 м.	1 ч. 20 м.	112 / —	24* / 103	50* / 170	
18	50	50	0,39	—	—	146 / —			
19	70	30	0,39	—	—	168 / —			
20	100	0	0,4	—	—	28 / —			

Примечание. Во всех опытах расплыв 17 см. Числа над чертой — прочность на изгиб, под чертой — на сжатие.

* Данные получены при испытании образцов 4×4×16 см.

Скорость подъема температуры до заданной находилась в пределах одного часа. Прочность определялась на образцах размером 2 × 2 × 2 см и 4 × 4 × 16 см. Через 1 — 2 часа после извлечения образцов из автоклава определялся их предел прочности при изгибе, а оставшихся половинок — при сжатии. Термограммы снимались на пирометре Курнакова.

Кривые д. т. а. (рис. 1, *1*) образцов, состоящих из одного белита и автоклавированных в течение суток при 200° и 700 ати, характеризуются эндотермическим эффектом (780°), что указывает на наличие гидросиликата C_2SH (C). При добавке к белиту высококремнеземистого компонента на термограммах появляется экзотермический эффект при 815—830°, устанавливающий присутствие гидросиликата CSH(B) с основностью 0,8. В этом случае в составе цементного камня наличие высокоосновных гидросиликатов кальция не наблюдается.

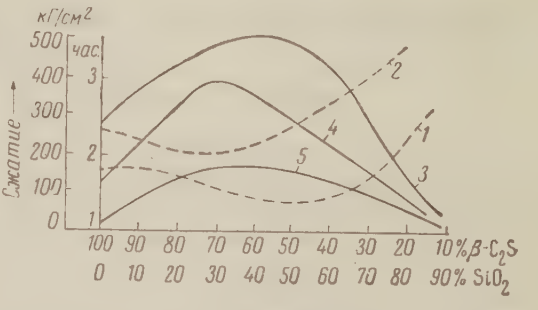


Рис. 2. Сроки схватывания и прочность смеси белитового компонента и кварцевого песка: *1* — начало схватывания в часах вяжущего при 200° и 700 ати; *2* — конец схватывания в часах вяжущего при 200° и 700 ати; *3* — предел прочности образцов при сжатии, автоклавированных в течение суток при 200° и 700 ати; *4* — предел прочности образцов при сжатии, автоклавированных в течение суток при 250° и 700 ати; *5* — предел прочности образцов при сжатии, автоклавированных в течение суток при 300° и 700 ати

Термограммы образцов, автоклавированных в течение суток при 200° и 700 ати, идентичны для образцов, автоклавированных при тех же условиях в течение 2 суток. Сроки схватывания и прочность образцов в большой степени меняются от процента добавки высококремнеземистого компонента (табл. 1).

Добавка его к белитовому компоненту в количестве до 20—50% несколько ускоряет процесс твердения цементной пульпы, уменьшая разрыв между началом и концом схватывания, и способствует резкому увеличению прочности (рис. 2). Дальнейшее повышение содержания высококремнеземистого компонента приводит к понижению прочности и замедлению сроков схватывания, что может быть объяснено «разбавлением» оптимального содержания низкоосновных гидросиликатов кальция в структуре цементного камня.

Характер изменения прочности в зависимости от содержания высококремнеземистого компонента в смеси при температурах 200, 250, 300° и давлении 700 ати относительно одинаков.

Удлинение продолжительности автоклавирования смеси при 200° и 700 ати до 7 суток не приводит к снижению прочности, что подтверждает наши предыдущие выводы ([2]) о стойкости низкоосновных гидросиликатов кальция — тоберморита, ксонотлита и CSH(B) — в условиях 200 и 700 ати.

Проведенные исследования подтвердили целесообразность применения в условиях высоких температур и давлений вяжущего β-C_2S, которое в смеси с высококремнеземистым компонентом при медленном твердении приводит к образованию низкоосновных, стабильных во времени гидросиликатов кальция.

Поступило
12 XII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. В. Кравченко, А. М. Дмитриев и др., Тр. Научно-иссл. инст. цемента, в. 13 (1960). [2] П. П. Будников, С. М. Рояк и др., ДАН, **134**, № 3 (1960). [3] С. М. Рояк, А. М. Дмитриев, Научн. сообщ. Всесоюзн. научно-иссл. инст. цемент. пром., 9(40), 1960. [4] Дж. Джеффри, III Международн. конгресс по химии цемента, М., 1958. [5] А. И. Булатов, Новости нефт. техн., нефтепромысловое дело, в. 5 (1956).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. Т. НИЖНИК

АМАЛЬГАМНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ РЕДКИХ РАССЕЯННЫХ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком А. Н. Фрумкиным 3 XI 1960)

Получение редких рассеянных металлов складывается из нескольких этапов: предварительного концентрирования, извлечения металлов из концентратов и рафинирования «серых» металлов до высокой степени чистоты ([1,2]). Наибольшие трудности встречает второй этап вследствие одновременно протекающих процессов соосаждения, старения осадков, коллоидообразования и др., вызывающих необходимость многократного переосаждения, затрат реактивов и потерю редких металлов.

Для устранения этих недостатков предлагается амальгамный метод извлечения и рафинирования редких металлов, принципы которого основаны на: а) значительной растворимости этих металловв ртути (In≈75%; Tl45%; Ga~2%); б) устойчивости амальгам этих металлов в водных растворах; в) отсутствии химического взаимодействия между металлами и ртутью; г) большом перенапряжении водорода на амальгамах ([3]), позволяющем вести реакции в достаточно кислых средах; д) большой диффузии в амальгамах ([4]), позволяющей применять значительные плотности тока; е) строгой последовательности в переходе металлов из раствора в амальгаму и из амальгамы в раствор; ж) однородной (идеально гладкой) поверхности амальгам и малой площади раздела с раствором, что исключает побочные реакции (асорбцию, пассивацию, образование гальванических элементов и др.) и обусловливает постоянство потенциала системы; з) большом удельном весе ртути и амальгам, позволяющем коллектировать значительные количества металла в небольшой объем амальгамы (с помощью 1 л Hg нам удавалось сконцентрировать ~10 кг In).

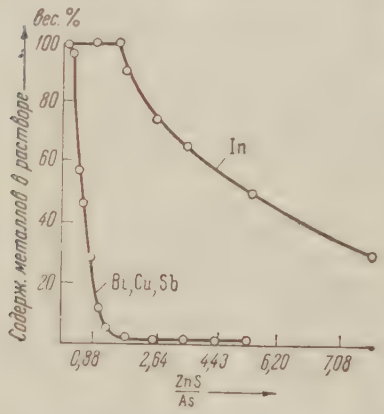


Рис. 1. Сульфидное разделение индия и тяжелых металлов

Сущность амальгамного метода получения редких металлов заключается в переводе их из растворов в амальгаму цементацией на амальгамах металлов более электроотрицательных по сравнению с извлекаемыми редкими металлами (например, Tl на Zn Hg или Cd | Hg; In на Zn|Hg; Ga на Na|Hg).

Из полученных амальгам металлы извлекают электролитическим (анодным) растворением с одновременным выделением редкого металла на катоде. Вопросы амальгамной металлургии цветных (и некоторых редких) металлов освещены в литературе ([5–10]). Мы исследовали процессы амальгамного получения и рафинирования In и Ga. О методе получения таллия сообщено в работах ([11, 12]).

На рис. 1 показан процесс сульфидной очистки индиевых растворов от примесей. При добавлении ZnS первыми осаждаются Bi, Cu, Sb, As и другие примеси, после чего связывается индий.

На рис. 2 и 3 показаны процессы извлечения в амальгаму индия с помощью амальгамы Zn | Hg и галлия с помощью Na | Hg *.

Вследствие близости потенциалов In и Cd, ($\pi_{1/2}$ In = —0,58, $\pi_{1/2}$ Cd = = —0,60 в) последний соцементируется с индием. Однако из сернокислых сред, содержащих избыток сульфатных ионов, эти металлы разделяются количественно ([13]). Сдвиг потенциала индия обусловлен образованием комплексного индиевого аниона $(In(SO_4)_2)^-$ ([14]).

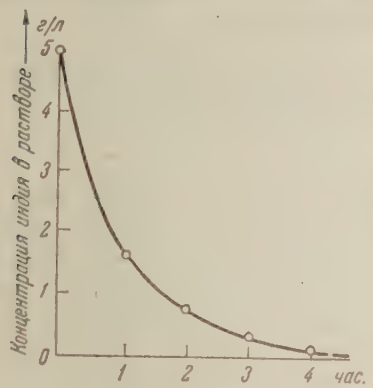


Рис. 2. Извлечение индия из раствора с помощью цинковой амальгамы (т : ж = 1 : 20)

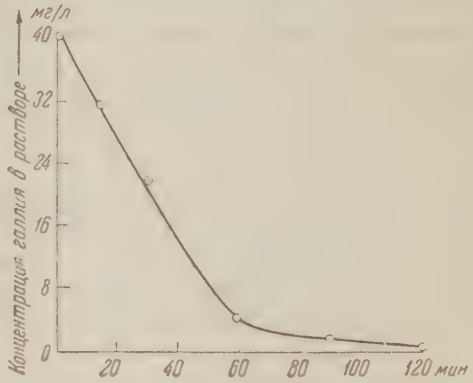


Рис. 3. Извлечение галлия из раствора с помощью натриевой амальгамы (т : ж = 1 : 20)

Исследование хода поляризационных кривых амальгам In, Bi, Pb, Cu, Sn и др., выполненное Е. В. Звагольской, показало, что для селективного перехода из амальгамы индия лучшей средой является солянокислая (до сих пор изучалась среда сернокислая ([15])). В солянокислой среде с применением анодной плотности тока от 0,05 до 0,1 а/см² при истощении In в амальгаме до 4—5% происходит полное отделение In от примесей с получением на катоде ⩾90% In спектрально чистого. Даже при соотношении в амальгаме In : Bi = 1 : 1 (In — Bi — интерметаллическое соединение ([16])), индий легко переходит в раствор до истощения его в амальгаме до ~5%, после чего он начинает окисляться. Для выяснения возможного загрязнения индия ртутью была исследована летучесть Hg из индиевой амальгамы под электролитом. Определение Hg проводилось колориметрически (табл. 1).

Таблица 1

Продолж. опыта, мин.	5°	50°	90°
60	Не обнаружено	Незначит. следы	Заметно
120	Незначит. следы	Заметно	0,001 г
300	Заметно	0,001 г	0,002 г

Под слоем раствора ртуть из амальгамы заметно испаряется лишь при температуре 50° и продолжительности опыта 5 час.

Таблица 2

Примеси	In сырец	In отрафиниров.	Примеси	In сырец	In отрафиниров.
Fe	10^{-2}%	Незначит. следы	Sb	Следы	Не обнаруж.
Zn	10^{-2}%	Не обнаруж.	Cu	»	» »
Cd	10^{-2}%	» »	As	»	» »
Pb	10^{-2}%	» »	Bi	»	» »
Sn	10^{-2}%	» »	Hg	Не обнаруж.	—

В заключение приводим характеристику отрафинированного по амальгамному методу индия. Метод анализа — спектральный (табл. 2).

* Цементация галлия на натриевой амальгаме изучалась совместно с Т. Т. Митюревой, И. С. Чаусом, а позже — с З. В. Шехтер.

Известно, что с увеличением чистоты металла падает его сопротивление растет длина свободного пробега λ электронов (которая растет также с понижением температуры) и увеличивается показатель степени при T в температурной зависимости электросопротивления $S = AT^n$ [17].

Проверка чистоты In была произведена физическими методами Б. И. Веркиным и Б. Н. Александровым. Они измерили остаточное сопротивление длину свободного пробега электронов и температурную зависимость сопротивления [17]. Результаты этих измерений представлены в табл. 3. Там же приведены характеристики индия некоторых зарубежных фирм.

Таблица 3

Образцы индия	Остаточное сопротивление $\frac{R_0}{R_{20°}} \cdot 10^5$	$\frac{R_{4,2°}}{R_{20°}} \cdot 10^5$	λ, мм	n
ИОНХ АН УССР	4,05	8,0	0,50	5
«Sachtleben» [17]	∽ 130	∽ 160	—	—
«Corporation Amerika» [18]	20	∼ 30	0,063 (при 3°K)	2,7
J. Mattey & Co» [19]	3,0	7,05	1,05 (при 0°K)	5
«Tadanac» brande [19]	5,2	9,2	0,45 (при 0°K)	5

Сравнение разных образцов индия (табл. 3) показывает, что индий после амальгамной очистки является одним из самых чистых из числа известных в литературе.

Институт общей и неорганической химии
Академии наук УССР

Поступило
13 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] О. Т. Ніжнік, Тр. молодых ученых, Київ, 1941, стр. 91. [2] О. Т. Ніжнік, Зап. Інст. хім. АН УРСР, 8, в. 2, 7 (1946). [3] А. Н. Фрумкин, Б. С. Багоцкий, З. А. Иофа, Б. Н. Кабанов, Кинетика электродных процессов, М., 1952. [4] В. Зайт, Диффузия в металлах, М., 1958. [5] E. Kuss, Angew. Chem., **62**, 519 (1950). [6] H. Hohn, Oster. Chem. Ztg., **49**, 15 (1948). [7] R. Macmullin, Chem. Eng. Progr., **46**, № 9, 20 (1950). [8] A. Gäumann, Schweiz. Arch., **10**, 337 (1955). [9] М. Т. Козловский, Ртуть и амальгамы в электрохимических методах анализа, Алма-Ата, 1956. [10] М. Т. Козловский, Хим. наука и пром., **3**, № 4, 439 (1958). [11] М. Т. Козловский, В. М. Илющенко, С. П. Бухман, М. В. Носек, В. Я. Сергиенко, Я. З. Малкин, Цветные металлы, **1**, 30 (1958). [12] А. А. Шокол, Л. Ф. Козин, Укр. хим. журн., **25**, в. 2, 249 (1959). [13] А. Т. Нижник, И. С. Чаус, Бюлл. изобретений, **6**, 77 (1958); Авт. свид. № 113758 от 23 IV 1957. [14] Н. В. Аксельруд, Укр. хим. журн., **21**, 457 (1955). [15] П. П. Цыб, Цветные металлы, **8**, 40 (1958). [16] M. T. Ludwick, Indium, N. Y., 1950. [17] Л. С. Кан, Б. Г. Лазарев, А. И. Судовцов, Журн. экспериментальной и теоретической физики, **18**, № 9, 825 (1948). [18] H. Meissner, R. Zdanis, Phys. Rev., **109**, № 3, 681 (1958). [19] I. L. Olsen, Helv. Phys. acta, **31**, № 7, 713 (1958).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Л. Н. СТЕСИК, Л. Н. АКИМОВА и А. Я. АПИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ ЗОНЫ РЕАКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ СПЛОШНОГО В. В.

(Представлено академиком В. Н. Кондратьевым 29 X 1960)

Детонация взрывчатого вещества (в. в.) представляет собой распространение по нему ударной волны, сопровождающейся химическим превращением вещества, которое происходит в течение определенного промежутка времени в некотором слое в. в. Под шириной зоны химической реакции понимается расстояние между фронтом ударной волны и плоскостью Чепмена — Жуге.

В работах ([1],[2]) была измерена ширина зоны реакции некоторых в. в. Сущность использованного в этих работах метода заключается в определении профиля массовой скорости u в металлической пластинке, двигающейся под действием взрыва заряда исследуемого в. в. Эксперимент сводится к определению начальной скорости движения w свободной поверхности металлических пластинок различной толщины. Ранее было установлено, что $w = 2u$ ([3]). Если ударная адиабата металла и скорость детонации в. в. известны, то можно вычислить ширину зоны химической реакции. Экспериментально установлено, что кривая $u = \varphi(\delta)$ (δ — толщина металла) имеет излом в некоторой точке. Считается, что массовая скорость металла в точке излома определяется давлением и массовой скоростью продуктов детонации в плоскости Чепмена — Жуге детонационной волны. Ширина зоны химической реакции вычисляется по формуле

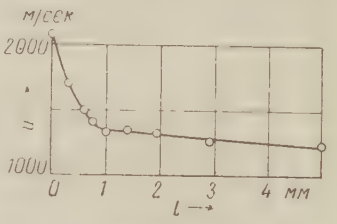


Рис. 1. Зависимость массовой скорости в алюминии от толщины пластинки

$$a = b\,\frac{(D - V)(u + c - D_1)}{D_1(u + c - V)}, \qquad (1)$$

где b — толщина металлической пластинки, при которой происходит излом кривой $u = \varphi(\delta)$, D — скорость детонации, D_1 — средняя скорость ударной волны в металле на участке b, V — средняя скорость движения границы в. в.— металл, u и c — массовая скорость и скорость звука в металле на глубине b.

В нашей работе была измерена ширина зоны реакции в детонационной волне сплошного в. в., плотность которого практически равна оптимальному значению. В качестве такого в. в. был взят баллиститный порох марки Н, в состав которого входит около 27% нитроглицерина. Заряды пороха имели диаметр 40 мм, высоту 60 мм и плотность 1,58 г/см^3. Порох инициировался линзовым зарядом, обеспечивавшим плоский фронт детонации. Скорость детонации составляла 7010 м/сек.

В опытах были использованы пластинки из алюминия, ударная адиабата которого известна ([4]). Толщина пластинок изменялась от 0,3 до 5 мм. При каждой толщине пластинок проведено по 5—7 опытов. Ошибка измерения массовой скорости составляла 2%, для пластинок толще 1 мм, и 4%, для более тонких пластинок.

Результаты опытов представлены в табл. 1 и на рис. 1. Значение массовой скорости алюминия на самой границе с порохом вычислено из известных ударных адиабат недетонирующего пороха Н ([5]) и алюминия.

Излом кривой $u = \varphi(\delta)$ происходит при толщине пластинки 0,85 мм. Значения всех величин, входящих в формулу (1), приводятся ниже. Скорость звука в алюминии вычислена из производной от ударной адиабаты алюминия $D_1 = 7520$ м/сек, $V = 1730$ м/сек, $u = 1360$ м/сек, $c = 7590$ м/сек.

Вычисление ширины зоны реакции дало результат 0,12±0,4 мм.

Формула (1) не учитывает отражения детонационной волны на границе в. в.— металл. В работе ([2]) была построена зависимость, связывающая измеренное значение ширины зоны реакции с динамической жесткостью в. в. и металла. Динамическая жесткость — произведение начальной плотности и скорости ударной волны ($\rho_0 D$). Используя эту зависимость, можно определить ширину невозмущенной зоны реакции в порохе Н. Ее величина оказалась равной 0,15±0,5 мм.

Таблица 1

Толщина пластинки, мм	Массовая скорость, м/сек	Толщина пластинки, мм	Массовая скорость м/сек
0,00	2100	1,38	1340
0,30	1700	1,95	1320
0,59	1500	2,90	1260
0,74	1400	5,00	1230
1,00	1330		

Проведенные нами опыты позволяют определить также политропу продуктов детонации пороха Н и параметры детонационной волны. Методика этих вычислений изложена в работе ([6]). Политропа продуктов детонации имеет следующее выражение:

$$P = 2{,}4 \cdot 10^{10} \rho^{2{,}80} \text{ бар.} \qquad (2)$$

Ниже приводятся величины, характеризующие состояние вещества в плоскости Чепмена — Жуге детонационной волны: $P = 204 \cdot 10^9$ бар., $\rho = 2{,}14$ г/см^3, $c = 5160$ м/сек, $u = 1840$ м/сек.

Среднее значение массовой скорости $\bar{u}$ в зоне реакции в 1,25 раза превышает значение u в плоскости Чепмена — Жуге. Теперь мы можем вычислить время химической реакции пороха Н в детонационной волне согласно формуле $t = a/(D - \bar{u})$, которое оказалось равным $3{,}3 \cdot 10^{-8}$ сек.

Кроме того, нами определена величина критического диаметра $d_{кр}$ сплошного пороха Н. Критический диаметр равен 28 мм.

Согласно Ю. Б. Харитону ([9]), существование критического диаметра обусловлено разбрасыванием из зоны реакции не успевшего прореагировать в. в. Величина $d_{кр}$ по порядку величины должна быть равна произведению ct (c — скорость звука в продуктах детонации), т. е. $d_{кр}$ по порядку величины равен ширине зоны реакции. В работах ([2,10]) было показано, что отношение $d_{кр}/a$ для запрессованных и насыпных зарядов порошкообразного в. в. равно примерно 10, причем с увеличением плотности заряда это отношение возрастает. В нашем случае отношение $d_{кр}/a$ равно примерно 200. Кроме того, нужно иметь в виду, что скорость детонации сплошного пороха не зависит от диаметра заряда ([7]). Критическая скорость практически не отличается от идеальной. Отсюда следует, что затухание детонации происходит практически без разбрасывания непрореагировавшего вещества из зоны реакции. Все же несомненно, что затухание детонации вызывается радиальным расширением продуктов детонации, происходящим с краев заряда. Однако расширение вещества внутри заряда не может быть вызвано продвижением волны разрежения в глубь заряда, так как за время реакции волна разрежения пройдет незначительную часть радиуса заряда.

Известно ([8]), что расширение продуктов детонации с поверхности заряда вызывает искривление детонационного фронта. Кривизна фронта увеличивается с уменьшением радиуса заряда. При прохождении через искривленный фронт детонации поток вещества становится расходящимся, т. е. за фронтом выпуклой детонационной волны радиальное расширение вещества

роисходит по всему сечению заряда, независимо от пути, пройденного волной разрежения. При некоторой кривизне фронта давление падает настолько, что дальнейшее распространение детонации становится невозможным.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступило
26 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] R. Duff, E. Houston, J. Chem. Phys., **23**, 1263 (1955). [2] А. Н. Дрёмин, П. Ф. Похил, ДАН, **127**, № 6, 1245 (1959). [3] Л. В. Альтшулер, К. К. Крупников и др., ЖЭТФ, **34**, в. 4 (1958). [4] Л. В. Альтшулер, А. А. Бакатова, Р. Ф. Трунин, ДАН, **121**, 67 (1958). [5] А. Я. Апин, Л. Н. Стесик, Н. К. Шведова, ДАН, **137**, № 4 (1961). [6] А. Н. Дрёмин, П. Ф. Похил, ДАН, **128**, № 5, 989 (1959). [7] А. Я. Апин, И. Д. Костин, Л. Н. Стесик, ДАН, № 3, **137** (1961). [8] H. Eyring, R. Powell et al., Chem., Rev., **45**, 69 (1949). [9] Ю. Б. Харитон, Сборн. Вопросы теории ВВ, Изд. АН СССР, 1947. [10] Л. Н. Стесик, Н. Н. Акимова, ЖФХ, **33**, № 8, 1762 (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

Е. Ф. БЕЛЕВИЧ

НОВОКАСПИЙСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ПРЕДУСТЬЕВОГО ПРОСТРАНСТВА ВОЛГИ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 29 VIII 1960)

Для выяснения характера новокаспийских отложений в предустьевом пространстве р. Волги, в его северо-западной части, на акватории Астраханского заповедника, было пробурено семь скважин (рис. 1). Бурение производилось ручным ударно-вращательным станком с деревянного настила, укрепленного на понтонах. Острова, между которыми находятся скважины №№ 5, 6 и 7, представляют собою участки дна предустьевого пространства р. Волги, обсохшие около 1937 г. в результате резкого понижения уровня Каспийского моря после 1932 г. Сведения о глубинах воды и скважин и о глубине залегания кровли хвалынских пород, численно принимаемой за мощность новокаспийских отложений, сведены в табл. 1.

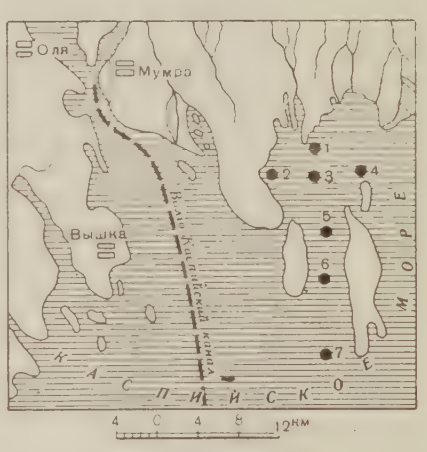


Рис. 1. Местоположение скважин (*1 — 7*)

Из приведенных данных следует, что в обследованном районе амплитуда высотных отметок кровли хвалынских пород превышает 10 м и что современный рельеф предустьевого пространства сильно отличается от рельефа новокаспийского времени.

Таблица 1

	Скв. № 1	Скв. № 2	Скв. № 3	Скв. № 4	Скв. № 5	Скв. № 6	Скв. № 7
Глубина воды над устьем скважины, м	0,7	0,45	0,6	0,4	0,65	0,66	0,6
Глубина скважин от поверхности дна, м	20,1	20,0	18,8	12,9	15,4	19,2	11,3
Глубина кровли хвалынских пород от поверхности дна, м	2,7	8,5	4,0	5,8	8,9	1,1	$\geqslant$ 11,3

Для характеристики новокаспийских отложений (0—8,3 м) приводится описание разреза, вскрытого скважиной № 5, абсолютная отметка устья которой — 27,3 м.

0—0,12 м. Алеврит, серый с многочисленными раковинами Viviparus viviparus L. и Dreissena polymorpha Pall. От HCl вскипает слабо. Переход резкий. Современный грунт.

0,12—0,23 м. Суглинок, неоднородный по механическому составу, темно-серый, книзу слоя становится желтовато-серым, с мелкими темными растительными остатками и микроскопическими карбонатными стяжениями. От HCl верхняя часть слоя не вскипает; внизу слоя суглинок вскипает не сильно.

0,23—1,3 м. Алеврит, желтовато-серый с рассеянными раковинами V. viviparus, Dr. polymorpha, Pisidium sp., Planorbis sp. и единичными обломками кардид. На 0,4—0,47 м прослойка серого глинистого алеврита с раковинами V. viviparus и Dr. polymorpha, на 0,6 м тонкая прослойка из тех же раковин. От HCl вскипает слабо.

1,3—3,6 м. Легкий суглинок с прослойками суглинка и супеси; до глубины 2,1 м серый с желтоватым оттенком, глубже темно-серый, с многочисленными раковинами Dr. polymorpha V. viviparus, количество которых книзу слоя уменьшается. Присутствуют углистые включения и торфянистые растительные остатки, иногда с белым налетом. Глубже 2,9 м появляются прослойки до 1 см толщины из светло-серой супеси, количество которых книзу слоя увеличивается. Суглинок около растительных остатков от HCl не вскипает, остальной вскипает слабо, прослойки супеси вскипают бурно. Переход в нижележащий слой постепенный. Отложения пресноводных проточных заливов и озер.

3,6 — 5,6 м. Супесь, неоднородная по механическому составу, светло-серая, переходящая на глубине 4,7 м в глинистый алеврит того же цвета. Супесь состоит из минеральных зерен алевритовой размерности и карбонатных частиц $<0{,}01$ мм в диаметре. В супеси много белых карбонатных прослоек в 1—4 мм толщины; есть редкие мелкие растительные остатки и мелкие обломки раковин, среди которых можно распознать обломки раковин дрейссен и реже кардид. В глинистом алеврите есть редкие мелкие темные растительные остатки, вокруг которых порода бывает окрашена в охристый цвет. От HCl супесь вскипает бурно, глинистый алеврит — сильно. Отложения более или менее изолированных водоемов — лагун, в которых происходило физико-химическое выделение карбонатов.

5,6—8,3 м. Алеврит с слоями глинистого алеврита, серый, слабо желтеющий книзу слоя. Слабо напорный плывун. Многочисленные мелкие обломки раковин дрейссенкардид и сравнительно редкие обломки солоноватo- и пресноводных гастропод. Есть редкие микроскопические растительные остатки, округлые кусочки желтоватого суглинка, иногда с серой сердцевиной, до 4 мм по большому диаметру и желтоватые несколько более крупные кусочки неправильной формы более легкого механического состава. Внизу слоя есть прослойки залегающего глубже желтоватого глинистого алеврита. От HCl вскипает сильно, в водной вытяжке довольно много Cl. Морские отложения зоны прибоя.

8,3—11,8 м. Алеврит с слоями глинистого алеврита и тонкими прослойками супеси; вверху светло-серо-коричневый, в середине слоя — светло-коричневый, внизу — светло-желтый. Есть немногочисленные, большей частью мелкие обломки раковин кардид, дрейссен, Theodoxus sp., Micromelania sp., Caspiella eichwaldi Krinic., Valvata sp., большей частью окатанные и окрашенные в желтый и реже в синий цвет и микроскопический ракушечный детрит. Вблизи от подошвы прослойка в 10 см толщины из переслаивающихся зеленовато-серых супеси и легкого суглинка и белой супеси. От HCl вскипает сильно. Хвалынские отложения.

11,8—12,4 м. Супесь голубовато-серая, однородная, с довольно многочисленным микроскопическим ракушечным детритом. 11,8—11,9 м — тяжелый суглинок того же цвета с микроскопическими ржавыми пятнышками. От HCl вскипает довольно сильно.

12,4—15,4 м. Тяжелый суглинок, не вполне однородный по механическому составу, серый с коричневым оттенком, с охристыми и черными мелкими пятнышками и с немногочисленными микроскопическим иобломками раковин, с многочисленными прослойками глинистого алеврита того же или кремового цвета; количество этих прослоек, в которых иногда присутствует мелкий ракушечный детрит, книзу скважины увеличивается. На глубине 13,3—14,4 м есть мелкие окатыши из охристого суглинка и окатыши и остроугольные кусочки (структурные отдельности?) самой породы. На 13,4 и 13,6 м тонкие прослойки из ракушечного детрита и единичных раковин Monodacna caspia Eichw., M. edentula Pall., Didacna barbot de marnyi Grimm, Adacna sp., дрейссен и окатанных обломков хвалынских и хазарских Didacna. На глубине 14,0—14,7 м и глубже 15,3 м лежит желтовато-серый глинистый алеврит с охристыми и желтовато-серыми окатышами суглинка, который представляет собою слабо напорный плывун. На 15,3—15,4 м есть раковины M. edentula Pall., Adacna plicata Eichw., Didacna ex gr. barbot de marnyi Grimm, Theodoxus pallasii Lindh. и окатанные обломки хазарских Didacna.

В разрезах, вскрытых другими скважинами, есть много общего с разрезом скважины № 5, но имеются и существенные отличия. В скважине № 1 все разновидности ранних новокаспийских отложений — морские, лагунные и озерные — отсутствуют. Здесь, отделяясь от хвалынских пород слоем толщиною в 0,6 м желтовато-серого глинистого алеврита с раковинами преимущественно пресноводных моллюсков, лежит 2-метровый слой желтовато-серой супеси с редкими прослоями суглинка и частыми и тонкими про-

лойками глинистого алеврита того же цвета. В скважине № 2 есть все раз-
овидности ранних новокаспийских отложений. Выше них лежит толща
редположительно русловых осадков мощностью в 2,3 м, перекрытых полу-
етровым слоем серого алеврита с карбонатными мелкими конкрециями в
го нижней части. В скважине № 3 есть лагунные и озерные отложения.
ыше последних лежит желтовато-серая супесь с раковинами пресновод-
ых моллюсков (0,7 м), перекрытая со следами размыва слоем алеврита того
е цвета 0,8 м толщиной. В скважине № 4 на хвалынских породах залегает
олща в 4,9 м суглинисто-алевритовых отложений с многочисленными ра-
овинами пресноводных моллюсков; в подошве этой толщи есть мелкие белые
арбонатные конкреции, а сверху нее лежит слой в 0,8 м толщиной желтова-
о-серой супеси с прослойком богатого растительными остатками суглинка.
скважине № 6 на хвалынских породах залегает слой 0,9 м толщиной серо-
о, хорошо отсортированного алеврита с многочисленными раковинами пре-
новодных моллюсков, лишенных конхиолинового слоя и белыми карбонат-
ыми конкрециями в его нижней части; выше лежит слой 10 см толщиной
емно-серого суглинка с растительными остатками. Скважина № 7, наибо-
ее удаленная от дельты, на глубине 11,3 м не вышла из новокаспийских
тложений и вскрыла (снизу вверх) слой желтовато-серого, не вскипающего
ли слабо вскипающего от HCl алеврита (5,2 м); толщу переслаивающихся
желтовато-серых суглинка, супеси и глинистого алеврита (2 м), в общем
ходную с супесью в скважине № 1; серый озерный суглинок со следами
азмыва вверху (2,8 м); отложения, аналогичные подстилающим озерный
суглинок (0,9 м); серый суглинок с растительными остатками (0,3 м). С по-
ерхности во всех скважинах лежит слой современного грунта 7—22 см тол-
щиной. Он представлен желтовато-серым алевритом, иногда илистым с мно-
очисленными раковинами ныне живущих пресноводных моллюсков и с
аковинами кардид, которые в настоящее время уже не обитают в данном
айоне предустьевого пространства реки Волги.

Данные бурения освещают главным образом ранний период послехва-
ынской истории обследованного района, о котором можно сказать следую-
дее. В начале новокаспийского времени весьма неровная поверхность обсле-
ованного района была затоплена морем. Между отмелями или даже остро-
ами, сложенными хвалынскими породами *, шло накопление алевритовых
глинисто-алевритовых отложений с мелкими окатышами других пород.
ти отложения сейчас залегают лишь в наиболее пониженных местах рель-
фа, начала новокаспийского времени. Наступившее позже падение уровня
оря привело к образованию в одних из понижений раннего новокаспийского
ельефа более или менее замкнутых лагун. Поступление обломочного мате-
иала в лагуны было, вероятно, несколько затруднено, и в них происходила
адка карбонатов (1). В то же время в других пониженных местах тогдаш-
его рельефа существовали более открытые и более проточные водоемы, в ко-
орых происходило накопление различных по механическому составу отло-
жений типа пресноводных озерных грунтов. Постепенно, в результате ка-
их-то изменений в распределении, величине стока или в местоположении
стья тогдашней Волги, озерный режим распространился и на лагуны. Об-
ая мощность морских, лагунных и озерных отложений колеблется от 3 до
0 с лишним метров. Накопление этих отложений и связанное с ним выров-
ивание раннего новокаспийского рельефа произошли не более чем за период
ервой новокаспийской трансгрессии и следовавшей за ней регрессии.

Надозерные отложения (к ним относятся и осадки, залегающие на возвы-
шенных участках раннего новокаспийского рельефа, сложенного хвалын-
кими породами) отличаются значительно бо́льшим разнообразием. Эти от-
ожения в каждой из скважин представлены литологически различными
садками, что затрудняет восстановление условий их накопления и не поз-

* Возможно, что в новокаспийское время происходило некоторое переотложение хва-
ынских пород, и то, что нами принимается за верхи хвалыни,— это уже новокаспийские от-
ожения.

воляет определить в разных скважинах синхронные осадки. Мощность надозерных отложений, включая и слой поверхностного современного грунта, колеблется от 1 до 3 м. Таким образом, общая мощность ранних новокаспийских отложений больше суммарной мощности надозерных осадков, хотя время накопления последних, вероятно, было продолжительнее чем первых. Сравнительно небольшая мощность надозерных осадков в известной мере может быть объяснена тем, что они накапливались на уже более или менее выровненной поверхности, которая находилась под воздействием, с одной стороны, волжского стока, а с другой,— осцилляций Каспия и периодически подвергалась эрозии.

Относительно доновокаспийских пород, рассмотрение которых не входит в задачу настоящей статьи, отметим лишь следующее. Во-первых, в обследованном районе не обнаружены нижнехвалынские «шоколадные» глины, широко распространенные в Прикаспии; они были вскрыты несколько севернее скважины № 1. Во-вторых, породы, залегающие в скважине № 5 на глубине 11,8—15,4 м, стратиграфически аналогичны породам, которые описаны К. А. Рачковской для дельты Волги как хазарские ([2]). Между тем в скважине № 5 в указанных породах из хазарской фауны присутствуют лишь явно переотложенные обломки хазарских Didacna. В других скважинах в аналогичных породах из раковин, имеющих значение для определения возраста, были встречены только единичные Didacna ebersini Fed., характерные для хвалынского яруса ([3,4]).

Пользуюсь приятной возможностью выразить П. В. Федорову большую благодарность за определение раковин моллюсков.

Астраханский
государственный заповедник

Поступило
11 VIII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Е. Ф. Белевич, Тр. Океанографич. комисс., 1, 1956. [2] К. А. Рачковская, Тр. Океанографич. инст., в. 18 (30) (1951). [3] П. В. Федоров, Тр. Геол. инст. АН СССР, в. 10 (1957). [4] Стратиграфия четвертичн. отлож. и новейш. тект. Прикаспийск. низм., Приложение 1, 1953.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

Л. Ю. БУДАНЦЕВ и И. Н. СВЕШНИКОВА

НОВЫЕ ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКИЕ НАХОДКИ НА ЗАПАДНОМ ШПИЦБЕРГЕНЕ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 10 IX 1960)

Остров Западный Шпицберген является одним из немногих в Арктике ест, где так полно представлен разрез осадочных отложений от нижнего евона до палеогена включительно. Большую часть разреза занимают кон-инентальные отложения, во многих точках содержащие богатые захоронения растительных остатков.

Благодаря своей относительной оступности о. Западный Шпицберен издавна служил объектом изуения многочисленных научных и аучнопромысловых экспедиций, оставлявших оттуда в числе прого и коллекции ископаемых расительных остатков.

Во второй половине прошлого толетия было опубликовано неколько трудов, посвященных ископаемой флоре Шпицбергена ([1–4]), в которых впервые обращено внимание на исключительно интересный состав ископаемой флоры Шпицбергена и ее большое значение для понимания истории развития древней растительности Северного полушария.

Однако за весь последующий период не было предпринято сколько-нибудь серьезных попыток дополнения или пересмотра теперь уже, несомненно, устаревших данных по ископаемой, особенно третичной флоре Шпицбергена. Вышедшая недавно статья А. Шломер-Ягер ([5]) с описанием третичных растительных остатков из района норвежского рудника Ню-Олесунн (Кингс-бэй), хотя и содержит ценные сведения о некоторых новых находках ископаемых форм, тем не менее не может восполнить этого пробела. К тому же автор использует случайную коллекцию растительных остатков, собранную в 1924 г. и оказавшуюся в одном из музеев Германии.

Рис. 1. Местонахождения ископаемых растительных остатков на о. Западный Шпицберген: *1* — Пирамида, *2* — мыс Богемана, *3* — Грумант, *4* — пик Линдстрома, *5* — мыс Геера, *6* — шахты №№ 4 и 5, *7* — шахта № 1, *8* — гора Геера, *9* — мыс Фестинген

Ископаемая, в частности палеогеновая, флора Шпицбергена требует особенно серьезного и всестороннего изучения, с одной стороны, как самая северная в Восточном полушарии и показывающая полярную границу распространения высших растений в прошлом, а с другой — как флора области,

в которой вероятно, формировались многие растительные виды, получившие широкое развитие во флорах Евразии в более поздние эпохи.

Отсюда ясен тот интерес к каждой новой находке растительных остатков на Шпицбергене, могущих в какой-то степени послужить материалом для ревизии устаревших данных и дополнить сведения о вымершей растительности этого исключительно интересного и важного района Арктики.

Летом 1959 г. нам удалось совершить поездку на о. Западный Шпицберген и собрать во многих местах большую коллекцию остатков ископаемых растений карбонового, нижнемелового и третичного возраста (рис. 1).

Местонахождение Пирамида расположено в районе одноименного угольного рудника в заливе Биллен-бэй. Здесь на дневную поверхность выходят континентальные отложения верхнего девона, продуктивная толща нижнего карбона (кульм), а также морские осадки верхнего карбона. Поиски растительных остатков в девонских сланцах не дали положительных результатов, зато в кварцевых песчаниках угленосного кульма удалось собрать несколько десятков хорошо сохранившихся остатков стволиков и листьев Lepidodendron, а также несколько экземпляров Stigmaria с превосходно отпрепарированными аппендиксами.

Местонахождение мыс Богемана. В цоколе террасы на южном берегу мыса обнажаются угленосные сланцы и песчаники верхней юры — нижнего мела. Растительные остатки происходят из темных тонкослоистых сланцев, залегающих под угольным пластом. Растительные остатки, собранные нами примерно в 5 км к западу от стрелки мыса, представляют собой обуглившиеся отпечатки веточек и шишек хвойных, редких листьев папоротников, цикадовых и гинкговых. Особенный интерес вызывают многочисленные и хорошо сохранившиеся отпечатки олиственных побегов, хвои и шишек Elatides. Изучение анатомического строения этих остатков даст возможность уточнить систематическое положение этого во многих отношениях загадочного хвойного, игравшего большую роль в сложении верхнемезозойской растительности Арктики.

Местонахождения Грумант и Баренцбург. В районах угольных рудников Грумант и Баренцбург растительные остатки были обнаружены в угленосных палеогеновых отложениях. Наиболее значительные по разнообразию форм и количеству образцов коллекции собраны в почве нижнего и верхнего угольных пластов, разрабатываемых шахтами рудника Баренцбург. Флора представлена незначительным числом папоротников, обилием хвойных из сем. Taxodiaceae, Cupressaceae и некоторых других и большим количеством листьев двудольных растений, главным образом древесных пород. Для последних весьма характерна гигантофилия: некоторые листья Quercus и Castanea достигают 35—40 см в длину, а Corylus, Tilia и др. до 25 см в поперечнике. Крупного размера достигают многие листья Cercidiphyllum и некоторые Betulaceae.

Крупнолистность представителей этой флоры говорит о весьма благоприятных условиях, вероятно, гумидного климата в нижней половине палеогена Шпицбергена.

Растительность времени отложения нижнего и верхнего угольных пластов, как, впрочем, и флора межпластовой конгломератовой прослойки, обнаруженная нами в районе Баренцбурга, не была вполне тождественной. В растительном комплексе из почвы нижнего пласта (шахта № 1) преобладают крупные листья Quercus и Castanea, а также веточки Taxodium и Metasequoia. Комплекс верхнего пласта (шахты №№ 4 и 5) представлен в основном широколиственными Betulaceae, Tilia, Cercidiphyllum при большем разнообразии хвойных и почти полном отсутствии крупнолистных Fagaceae. В составе флоры из конгломератового межпластового прослоя основная роль принадлежит Ginkgo при значительном участии Cercidiphyllum.

К этому можно добавить и отличия в характере пород, вмещающих растительные остатки и представленных в почве нижнего пласта тонкогоризонтальнослоистыми алевролитами и глинистыми сланцами, а в почве

верхнего — мелкозернистыми кварцевыми песчаниками. Все вместе взятое говорит о различных экологических условиях произрастания растительных сообществ во время, предшествующее накоплению нижнего и верхнего угольных пластов.

Помимо 5—6 местонахождений в непосредственной связи с шахтами рудников Баренцбург и Грумант было обнаружено еще несколько точек с захоронением растительных остатков на побережье Грёнфьорда: гора Геера, мысы Геера и Фестинген. Первое захоронение расположено на 200-метровой высоте в 10—12 км к югу от Баренцбурга. Здесь на дневную поверхность выходит нижний пласт угля, полого падающий к северу. В осыпи мелкозернистых песчаников из-под угольного пласта удалось собрать несколько отпечатков листьев двудольных растений и уникальных отпечатков листьев небольшой шишки Pinus, ранее не известной во флоре Шпицбергена.

На мысах Геера и Фестинген, с востока и запада открывающих вход в Грёнфьорд, экспедицией Норденшельда в 1868 г. была собрана значительная коллекция растительных отпечатков, представленная несколькими десятками видов. Тщательными поисками в этих точках нам удалось обнаружить лишь весьма скудные захоронения редких отпечатков веточек хвойных и несколько форм двудольных растений. Будучи расположенными в зоне морского прибоя, эти захоронения все время подвергаются интенсивному размыву. По-видимому, участки отложений, изобилующие растительными остатками, встреченные Норденшельдом, были в последующем разрушены деятельностью волн.

Местонахождение Пик Линдстрома. Массив г. Линдстрома поднимается на 960 м н. у. м. к северу от бухты Колес (Колсбэй) в Ис-фьорде. От подножия до вершины возвышенность сложена осадочными третичными породами. Захоронение растительных остатков обнаружено нами на высоте 850—900 м н. у. м., непосредственно ниже вершины Пика, покрытой вечным снегом. На указанной высоте обнажается самый верхний член третичной осадочной серии, так называемые верхние угленосные песчаники, присутствие которых обнаруживалось на самых высоких горных вершинах. На 60—80 м ниже вершины Пика Линдстрома песчаники дают несколько коренных выходов и широкую осыпь. Мелкозернистые, серые или зеленовато-серые, иногда окрашенные окислами железа в охристый цвет, песчаники по плоскостям слегка волнистой слоистости содержат растительные отпечатки прекрасной сохранности. Отпрепарированные в естественных условиях дневной поверхности, отпечатки разнообразных листьев, побегов и шишек хвойных необычайно рельефно выделяются на светлой породе.

Для флоры с Пика Линдстрома также характерна крупнолистность: некоторые экземпляры листьев достигают 30—35 см в поперечнике. Однако ее состав отличается от флоры низов третичной толщи большим разнообразием двудольных древесных пород, представленных здесь многими видами Fagaceae, Juglandaceae, Betulaceae, Tiliaceae, Cercidiphyllum, Vitaceae и др.

Захоронение ископаемой флоры на Пике Линдстрома — пока первое и единственное для верхних угленосных песчаников Шпицбергена. С ним впервые появилась возможность проследить изменение состава флоры в тот отрезок палеогена, во время которого отложилась почти тысячеметровая толща осадочных пород. Весь собранный нами материал из 11 местонахождений растительных остатков послужил основой для критического пересмотра устаревших палеоботанических данных по ископаемой флоре Шпицбергена и ее существенного дополнения новыми сведениями, что явится определенным вкладом в проблему изучения геологической истории Арктики.

Ботанический институт им. В. Л. Комарова
Академии наук СССР

Поступило
9 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] O. Heer, Svensk. Vet. Akad. Handl., 8 (1870). [2] O. Heer, ibid., 14 (1876). [3] A. Nathorst, ibid., 26 (1894). [4] A. Nathorst, ibid., 30 (1897). [5] A. Schloemer, Palaeontographica, Abt. B, 104 (1958).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

В. П. ГРИЧУК

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ МОЛОДОГО ВЕРХНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО МЕЖЛЕДНИКОВЬЯ НА р. БАЛАЗНЕ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 29 IX 1960)

Положение о наличии в верхнем плейстоцене, кроме рисс-вюрмской (микулинской, московско-валдайской) межледниковой эпохи, еще одного, более молодого — «молого-шекснинского» — межледниковья было высказано А. И. Москвитиным еще в 1941 г. Обоснование этого положения дано им в позднейших публикациях ([1],[2]). Однако фактические данные, приводившиеся А. И. Москвитиным, не вполне убедительны. В особенности это относится

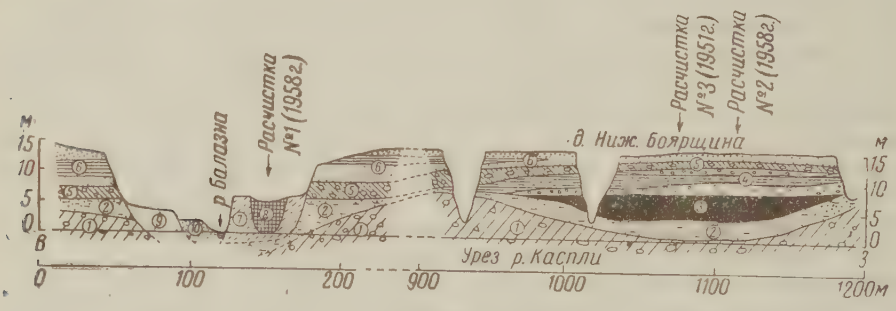


Рис. 1. Разрез левого склона долины р. Каспли от устья Балазны до д. Н. Боярщины. *1* — $gl Q_{II}^{m}$, морена московского оледенения; *2* — lg l — $l Q_{II}^{m}$, пески и суглинки с галькой конца эпохи московского оледенения; *3* — l — $h Q_{III}^{mik}$, торф и гиттии микулинского межледниковья; *4* — l — lg $l Q_{III}^{w}$, пески с гравийными линзами и ленточные глины эпохи валдайского оледенения; *5* — gl Q_{III}^{w}, морена валдайского оледенения; *6* — lg $l Q_{III}^{w}$, пески и ленточные глины времени отступания льдов валдайского оледенения; *7* — al Q_{III}^{3} супеси надпойменной террасы; *8* — al (st) Q_{III}^{3}, старичные отложения эпохи молодого верхнеплейстоценового межледниковья; *9* — al Q_{IV}, отложения высокой поймы; *10* — al Q_{IV}, отложения низкой поймы

к палеоботаническим материалам, в большинстве своем очень фрагментарным. Существенно и то, что ни один из приведенных А. И. Москвитиным разрезов молого-шекснинских отложений не находится в условиях, ясно и бесспорно показывающих их стратиграфические соотношения с отложениями предшествующего, микулинского, межледниковья.

В течение длительного времени новые материалы, которые освещали бы проблему молого-шекснинского межледниковья, не появлялись. Лишь в самое последнее время такие данные были получены при изучении отложений I надпойменной террасы рр. Балазны и Каспли около д. Боярщина Понизовского района Смоленской обл. Изучение этих отложений проводилось во время полевых работ в 1958 и 1959 гг. Н. С. Чеботаревой, Л. Р. Серебрянным, В. П. Гричуком и др.; спорово-пыльцевые анализы выполнялись Е. А. Мальгиной, М. Х. Моносзон и автором настоящей статьи.

Долина Каспли очень узка, имеет крутые склоны с большим числом обна-ений. В ней и в устьевых частях долин притоков прослеживается низкая ойма (высотою 2,0—2,5 м), высокая пойма (высотою в 4,0—4,5 м) и одна адпойменная терраса высотой до 7,0 м.

Строение склона долины Каспли, от устья р. Балазны до д. Н. Боярщи-а, показано на профиле (рис. 1). Как показали исследования Н. С. Чебо-аревой ([3]), коренной склон долины слагают морена и лимногляциальные бразования московского оледенения, озерно-болотные отложения мику-инского межледниковья, морена и лимногляциальные отложения

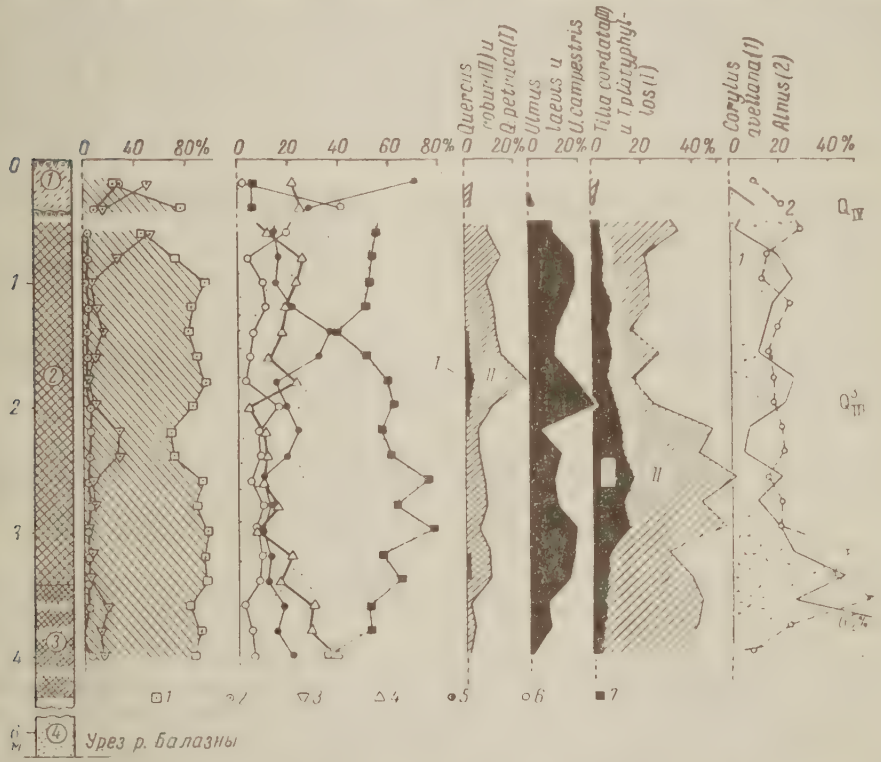


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма старичных отложений надпойменной террасы р. Балазны. *1* — пыльца древесных пород; *2* — пыльца травянистых растений; *3* — споры; *4* — Picea; *5* — Pinus, *6* — Betula; *7* — сумма пыльцы широколиственных пород

алдайской ледниковой эпохи *. Результаты анализа образцов из расчистки № 2 1958 г. подтвердили правильность датировки озерно-болотных отложений и дали материалы для уточнения флористической характеристики отложений микулинского межледниковья. В устьевой части долины Балазны прислонение аллювиальных осадков надпойменной террасы и поймы к отложениям коренного берега было прослежено по ряду обнажений и расчисток. Здесь же, в береговом обрыве надпойменной террасы видна линза старичных отложений, приуроченная к хорошо выраженному дугообразному понижению вдоль тылового шва террасы.

Расчистка № 1 дала следующий разрез отложений, заполняющих эту древнюю старицу.

1. Супесь серая, неяснослоистая . . . . . Мощность 0,35 м
2. Гиттиевая глина, серая плотная, книзу темно-серая (верхние горизонты выветрелые) с обломками древесины и другими растительными остатками . . . . . Мощность 3,00 м

* В статье Н. С. Чеботаревой в толще образований валдайской эпохи морена как самостоятельный горизонт не выделялась.

3. Переслаивание гиттиевой глины и глинистого песка . . . . . Мощность 0,80 м

4. Песок слоистый желтовато-серый, обнажается до уреза воды . . . .

Результаты спорово-пыльцевого анализа образцов из этой расчистки, приведенные на диаграмме (см. рис. 2), показывают, что накопление их относится к отрезку времени, характеризующемуся господством в растительном покрове формаций широколиственных лесов (суммарное содержание пыльцы широколиственных пород достигает 77%).

Характер спорово-пыльцевых спектров и состав флоры (см. табл. 2) согласованно показывают, что этот отрезок времени относится к климатическому оптимуму эпохи несомненно межледникового характера. Учитывая условия залегания старичной линзы (которые очень ясны), мы должны прийти к выводу, что эта эпоха по времени следует за микулинским межледниковьем и предшествует голоцену. Таким образом, по своему стратиграфическому положению она соответствует молого-шекснинскому межледниковью.

Таблица 1

Особенности в составе лесов (время наиболее оптимальных климатических условий)

Особенности растительного покрова	Q^1_{III} Боярщина	Q^3_{III} Балазна	Q_{IV} Кошеватка
Роль формаций широколиственных лесов в растительном покрове (во время их максимального развития)	Полностью господствуют	Господствуют, но имеются и формации смешанных лесов — с елью, сосной и березой	Существуют наряду с хвойными (еловыми) и березовыми лесами
Изменения состава формаций широколиственных лесов во времени	Вначале существуют дубовые леса с примесью ильмовых, затем распространяются смешанные дубовые и грабовые леса с липой и ильмовыми	Вначале леса с преобладанием липы, затем — леса, в которых роль липы уменьшается, а дуба и ильмовых возрастает	Все время существуют смешанные леса с дубом, липой и ильмовыми; лишь в конце как небольшая примесь появляется граб
Развитие ассоциаций с участием лещины (Corylus)	Исключительно большое развитие ассоциаций с C. avellana и C. colurna	Большое развитие ассоциаций с участием C. avellana	Сравнимо с современным развитием этих ассоциаций в зоне широколиственных лесов

Для того чтобы иметь возможность сопоставить результаты изучения старичных отложений Балазны не только с данными по микулинским отложениям, но и с данными по голоценовой флоре были выполнены спорово-пыльцевые анализы разреза одного из близлежащих торфяников. Скважина около д. Кошеватка (примерно в 3 км южнее Боярщины и устья Балазны) вскрыла толщу торфа и сапропеля мощностью около 5 м, время накопления которой охватывает весь голоцен, начиная с пребореального времени. Некоторые основные данные для сравнения особенностей растительного покрова и лесной флоры в период с наиболее оптимальными климатическими условиями древнего верхнеплейстоценового межледниковья (Боярщина), молодого верхнеплейстоценового межледниковья (Балазна) и голоцена (Кошеватка) приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 2

Видовой состав лесообразующих пород (время наиболее оптимальных климатических условий)

Вид	Q^1_{III} Боярщина	Q^3_{III} Балазна	Q_{IV} Кошеватка	Вид	Q^1_{III} Боярщина	Q^3_{III} Балазна	Q_{IV} Кошеватка
Picea	—	++	++	Quercus petraea Liebl.	+	—+	—
Pinus silvestris L.	—	++	++	Q. pubescens Willd.	+	—+	—
Betula verrucosa Ehrh.	} +	+	+	Ulmus laevis Pall.	++	++	++
B. pubescens Ehrh.	}			U. campestris L.	++	++	++
Carpinus betulus L.	++	—	—	U. scabra Mill.	?	?	?
Corylus colurna L.	+	—	—	Tilia cordata Mill.	++	++	++
C. avellana L.	++	++	++	T. platyphyllos Scop.	++	++	++
Quercus robur L.	+	+	+	Tilia sp. (T. af. europaea L.)	+	+	—

Данные, приведенные в этих таблицах, показывают, что хотя разрез алазны характеризует всего лишь часть молодого верхнеплейстоценового ежледниковья, однако и здесь устанавливаются своеобразные черты его лоры и растительности, отличающие его и от микулинского межледни-овья и от климатического оптимума голоцена.

Институт географии
Академии наук СССР

Поступило
29 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. Н. Москвитин, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 88 (1947). [2] А. Н. Москвитин, Вюрмская эпоха (неоплейстоцен) в Европейской части СССР, Изд. АН СССР, 950. [3] Н. С. Чеботарева, Матер. по палеогеографии, в. 1, М., 1954.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

А. В. КОПЕЛИОВИЧ, И. Г. ЛОДЖЕВСКИЙ и С. В. ТИХОМИРОВ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ФУНДАМЕНТЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОДМОСКОВЬЯ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 2 VII 1960)

В 1940 г. скважиной, пробуренной в Москве, в районе старых боен, на глубине 1656 м, под покровом осадочных пород, возраст которых, как было впоследствии установлено, соответствует нижнему кембрию ([3,4]) или рифею ([8]), были вскрыты кристаллические породы, слагающие фундамент Русской плиты.

Эти породы, пройденные скважиной на протяжении 11 м (1656—1677 м), изучались В. И. Лучицким и Ю. И. Половинкиной ([5]), а позднее А. Н. Заварицким ([2]). Согласно данным этих исследователей породы фундамента представлены типичными мигматитовыми гнейсами с неоднородным сложением, с более темными, богатыми биотитом участками и более светлыми сегрегациями кварцево-полевошпатового состава. С биотитом тесно связан силлиманит и кордиерит, реже гранат. По мнению В. И. Лучицкого и Ю. И. Половинкиной, эти породы очень сходны с мигматитами, встречающимися на р. Ингульце и в ряде мест Киевской, Подольской, Волынской областей Украинского кристаллического массива.

В 1960 г. в 30 км северо-восточнее Москвы, у ст. Щелково, Союзной геолого-поисковой конторой Главгаза была пробурена скважина глубиной 1387 м, вскрывшая кристаллический фундамент на глубине 1372 м. С учетом абсолютных отметок, поверхность кристаллического фундамента располагается в Щелкове на 296 м выше, чем в Москве. Если принять во внимание, что указанная поверхность в северо-западном от Москвы направлении полого погружается и вскрывается Поваровской скважиной на глубине 1763 м, а Редкинской — на глубине 1732 м, то гипсометрически высокое положение поверхности кристаллического основания в Щелкове, на расстоянии около 25 км от Боенской скважины, представляется неожиданным фактом, заслуживающим серьезного внимания.

Как показало изучение пород, слагающих фундамент в районе Щелково, последние петрографически резко отличаются от пород фундамента, вскрытых опорными скважинами в других близко расположенных пунктах.

На протяжении пройденного бурением интервала (1372—1387 м) они представлены темно-серыми и черными мелкозернистыми заметно полосчатыми гнейсовидными чарнокито-норитовыми породами.

В составе их преобладает основной плагиоклаз, образующий изометрические и заметно удлиненные выделения, размером от 0,2 до 2 мм в поперечнике, то с четко ограненными, то с неправильными, часто округлыми очертаниями. Судя по оптическим свойствам, плагиоклазы неоднородны и меняют свой состав от основного лабрадора (№ 65) до битовнита (№ 73). Плагиоклаз полисинтетически сдвойникован по альбитовому, карлсбадскому и периклиновому законам. Нередко наблюдаются сложные комбинированные двойники. Двойниковые полоски обычно имеют характерный клиновидный облик, иногда они несколько деформированы и дугообразно изогнуты. Наряду с зернами, которым присуща двойниковая структура, часто встречаются и несдвойникованные зерна плагиоклаза.

Существенным компонентом породы (10—15%) является гиперстен. Он наблюдается в виде мелких изометричных зерен, размером от 0,1 до 0,5 мм, а также образует крупные удлиненные кристаллы (до 2 мм) с неправильными извилистыми ограничениями. Плеохроизм отчетливый от бледно-зеленоватого до светло-розового по характерной схеме. Угасание прямое. $2V_{Np} = -47°$.

Наряду с ромбическим пироксеном отмечается в небольшом количестве моноклинный, с бледно-зеленоватой окраской, едва заметным плеохроизмом. $N_g : C = 42°$. $2V_{Ng} = 54°$.

В переменном и обычно небольшом количестве (не свыше 10%) присутствует кварц, образующий как мелкие, так и крупные выделения (до 1,5 мм). Крупным зернам присуща волнистая и мозаичная структура.

Наблюдается калиевый полевой шпат (3—5, реже до 10%), выделения которого выполняют мелкие промежутки между зернами плагиоклаза и гиперстена и отчетливо ксеноморфны к ним.

Акцессорные минералы представлены апатитом и рудным минералом. Иногда в небольшом количестве присутствуют эпидот и цоизит.

Структура рассмотренных пород бластическая. Резкие различия в размере выделений придают структуре неясно выраженный порфировидный облик. Выделения гиперстена, часто сегрегирующиеся в линейно вытянутые скопления, обусловливают полосчатую гнейсовидную текстуру рассмотренных образований.

Вблизи поверхности фундамента породы несколько изменены. Гиперстен псевдоморфно замещается бледно-зеленоватым хлоритом, по которому, в свою очередь, развивается кальцит.

Как известно, породы чарнокитового комплекса широко развиты в пределах Украинского кристаллического щита, где они тесно связаны с разнообразными гнейсами, мигматитами, розовыми лейкократовыми гранитами; большинство исследователей относят их к древнейшим образованиям.

Сходство описанных выше пород с чарнокито-норитовыми породами, развитыми на Украине и в Подолии ([6],[7]), дает основание относить формацию кристаллических пород, слагающую фундамент в этой части Подмосковья, по аналогии с Украинским кристаллическим щитом, к древнейшим подразделениям архея.

Как известно, кристаллический фундамент Подмосковья неоднороден не только петрографически, но и по возрасту слагающих его формаций. Наряду с образованиями архея, к которым относятся мигматитовые гнейсы, вскрытые Боенской скважиной, и розовые лейкократовые граниты, установленные в Серпухове, Поваровской опорной скважиной была вскрыта серия пород, состоящая из тонкого чередования микрогнейсов гранодиоритового состава, роговообманковых гнейсов, содержащих куммингтонит (?), и амфиболитов, которые изучавшие их исследователи параллелизуют со сходными с ними породами, располагающимися в основании саксаганского комплекса Кривого Рога, и соответственно относят к протерозою ([1]).

Значительное различие в положении поверхности фундамента в Москве и Щелкове следует связывать с тектоническими причинами, а не с особенностями древнего эрозионного рельефа кристаллического ложа. Об этом свидетельствуют некоторые черты строения осадочного чехла в районе Щелково. Как установлено проводившимися исследованиями, отложения девона и карбона образуют здесь куполовидное поднятие, несколько вытянутое в северо-восточном направлении с пологим юго-восточным и относительно крутым северо-западным крыльями. Амплитуда поднятия 33 м. Его конфигурация, установленная на подошве нижнещигровских слоев, повторяется почти без изменений и по подошве верейского горизонта.

Мощность каменноугольных и девонских отложений в Щелкове не обнаруживает существенных изменений в сравнении с разрезами московских скважин (Боенской и Ордынской). Мощность же рифейских отложений резко сокращена и составляет всего 86 м, в то время как в ближайших скважи-

нах она неизмеримо выше: в Боенской 417 м, Поваровской около 516 м в Редкинской 527 м. К сожалению, ограниченное количество керна, полученное при бурении Щелковской скважины, не позволяет с достаточной уверенностью судить, какая именно часть рифейских отложений отсутствует в вскрытом разрезе.

Высокое положение поверхности кристаллического фундамента в Щелкове вряд ли возможно связывать с особенностями дорифейского рельефа, поскольку рифейские отложения в ближайших разрезах (Москва, Поваровка, Редкино) не обнаруживают каких-либо признаков фациального изменения и литологический их облик в пределах обширной территории центральных районов однотипен. Отсутствие влияния Щелковского выступа на литологический состав рифейских толщ скорее свидетельствует о том, что во время их накопления указанного выступа не существовало.

Необычайной представляется также поразительная свежесть чарнокитоноритов, вскрытых Щелковской скважиной. Исключительно нестойкий в условиях выветривания минеральный состав этих пород должен был обусловить, в случае выхода их на дневную поверхность, развитие мощной коры выветривания и изменения на значительную глубину.

Приведенные данные дают основание предполагать, что Щелковский выступ возник не в предрифейское время, а значительно позднее, под влиянием тектонических причин. Поскольку величина сокращения мощности рифейских отложений в Щелкове несоизмерима с амплитудой куполовидного поднятия, наблюдаемого здесь в девонских и каменноугольных слоях, эти тектонические нарушения, вероятно, имели место в додевонское время. Наблюдаемые соотношения, скорее всего, обусловлены крупным разрывным нарушением, рассекающим как породы фундамента, так и располагающуюся на нем толщу рифейских отложений. Это нарушение не переходит в отложения среднего девона, что установлено рядом скважин, пробуренных в этом районе. Возникновение пологого куполовидного поднятия в породах девона и карбона следует связывать с более поздними подвижками, омолодившими древнее нарушение.

Уточнение строения фундамента рассматриваемой территории представляет как теоретический, так и практический интерес и требует проведения геофизических исследований и дополнительных буровых работ.

Геологический институт
Академии наук СССР

Поступило
27 VI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] М. М. Веселовская, Д. Н. Утехин, С. М. Суханова, Тр. Всесоюзн. научно-иссл. геол. разв. нефт. инст., в. 13 (1959). [2] А. Н. Заварицкий, В. П. Батурин, Вопр. литологии и стратиграфии СССР. Изд. АН СССР, 1951. [3] А. В. Копелиович, ДАН, 71, № 6 (1950). [4] А. В. Копелиович, ДАН, 78, № 5 (1951). [5] В. И. Лучицкий, Ю. Ир. Половинкина, Сов. геол., № 10 (1940). [6] Л. Г. Ткачук, Геол. журн. АН УССР, 14, в 3 (1954). [7] Л. Г. Ткачук, Г. Н. Иванова, А. А. Савицына, Научн. зап. Львовск. политехнич. инст., в. 16, сер. геол.-разв., № 1 (1956). [8] Н. С. Шатский, Изв. АН СССР, сер. геол., № 1 (1952).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

И. В. МАСЛОВА

ЕЗУЛЬТАТЫ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА ПЛИОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КЕРЧЕНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

(Представлено академиком В. Н Сукачевым 29 IX 1960)

Изученный разрез находится на северном крыле Яныш-Такыльской синлинали на м. Ченгулек, где два участка хорошо обнаженных слоев разделены сильно задернованной частью склона с оползнями, закрывающими слои ощностью около 10 м.

Исследовались отложения меотиса, понта и киммерия, хорошо охарактеизованные фауной (моллюски), определения которой произведены . А. Стекловым. В разрезе меотических отложений по моллюскам достаточо четко можно выделить два стратиграфических горизонта — нижний разнообразной фауной (Dosinia, Cardium, Abra, Congeria panticapaea ndrus.), соответствующий нижнему (и среднему?) горизонтам схемы Андруова (Andrussov, 1905), и верхний — преимущественно с Congeria subnovoossica Ossaul. и C. panticapaea (верхний меотис Н. И. Андрусова). Меотические отложения в изученном разрезе прослеживаются начиная с сарматеотических известковых рифов, но хорошо обнажены лишь слои, лежащие а 10 м выше рифов, откуда и начато описание разреза.

$^{mt_1}_{2}$1. Глины серые и синевато-серые, плотные, с прослоями алевролита, в верхней части с прослоем песчаника с массой раковин Abra tellinoides Sinz., Modiola incrassata var. minor Andrus., Dosinia maeotica Andrus. . . . . Мощность 3,0 м

Песчаник светло-желтый, средней плотности, с прослоями ракушняка из раковин Ervilia minuta Sinz., Cardium mithridatus Andrus., Abra tellinoides . . . . . Мощность 2,0 м

Переслаивание серых и темно-серых глин, часто с присыпками песка, и песчаников светло-серых, с прослоями ракушняка. В глинах и песчаниках встречены Congeria cf. panticapaea Andrus., Abra tellinoides Sinz., Hydrobia sp. . . . . Мощность 5,5 м

Глины темно-серые, плотные, с присыпками песка, в нижней части — тонкослоистые, с пропластками коричневых и голубоватых глин мощностью 0,1—5,0 см, в верхней части — с прослоями ракушняка из раковин Abra tellinoides Sinz. . . . . Мощность 6,0 м

Песчаник светло-серый, плотный, с редкими тонкими прослоями глин, с раковинами Abra tellinoides Sinz. . . . . Мощность 2,0 м

$^{mt_2}_{2}$ 6. Переслаивание светло-серых и желтоватых глин с плотными песчаниками и ракушняком из раковин преимущественно Congeria subnovorossica Ossaul., C. panticapaea Andrus., реже—Abra tellinoides Sinz., Mactra sp., Helicella sp . . . . . Мощность 1,5 м

$^{pt}_{2}$ 7. Глины темно-серые, плотные, с большим количеством раковин Paradacna abichi R. Hoern. и Dressensia sp., в нижней части сильно выветрелые с поверхности . . . . . Мощность 12,5 м

$^{kmr}_{2}$ 8. Алевролит плотный, бурый, ожелезненный, с остатками раковин киммерийских Cardiidae. . . . . Мощность 0,1 м

Перерыв в обнажении 10 м

Глины бурые, неслоистые, с прослоями бобовой железной руды, сильно ожелезненные, со стволами деревьев . . . . . Мощность 1,5 м

0. Песчаник плотный, сильно ожелезненный, бурый, в нижней части глинистый, с тонкими прослоями бурого железняка, с остатками древесины . Мощность 3,7 м

1. Глины темно-серые, плотные, неслоистые . . . . . Мощность 4,5 м

2. Переслаивание серых плотных глин (1,0—0,6 м) с песчаниками плотными, желтыми и бурыми (0,3—0,8 м мощностью), в верхнем прослое железистого песчаника обилие раковин киммерийских моллюсков Arcicardium acardo Desh., Panticapaea duboisi C. May, Phyllocardium planum Desh., Dreissensia sp., Viviparus sp. и мн. др. . . . . Мощность 4,7 м

3. Глины темно-серые, сильно трещиноватые и выветрелые . . Видимая мощность 3,5 м

Спорово-пыльцевые спектры изученного разреза неоднородны по состав и соотношению составляющих их элементов (на рис. 1 звездочкой отмечен образцы, в которых пыльца и споры не были обнаружены). В спорово-пыл цевых спектрах меотических отложений выделяются две группы спектро спектры сравнительно богатого флористического состава и спектры обед ненного состава. Первая группа, характеризующая слои *1—5*, отличаетс сравнительно высоким содержанием пыльцы трав (до 44%), хотя в целом эт спектры можно отнести к лесному типу. Число родов древесных пород

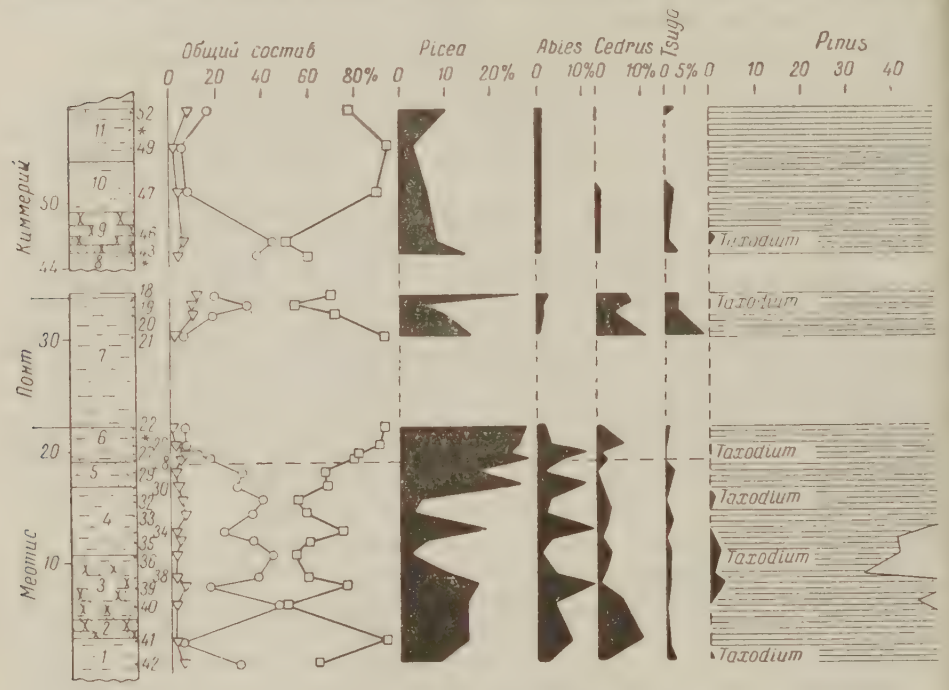


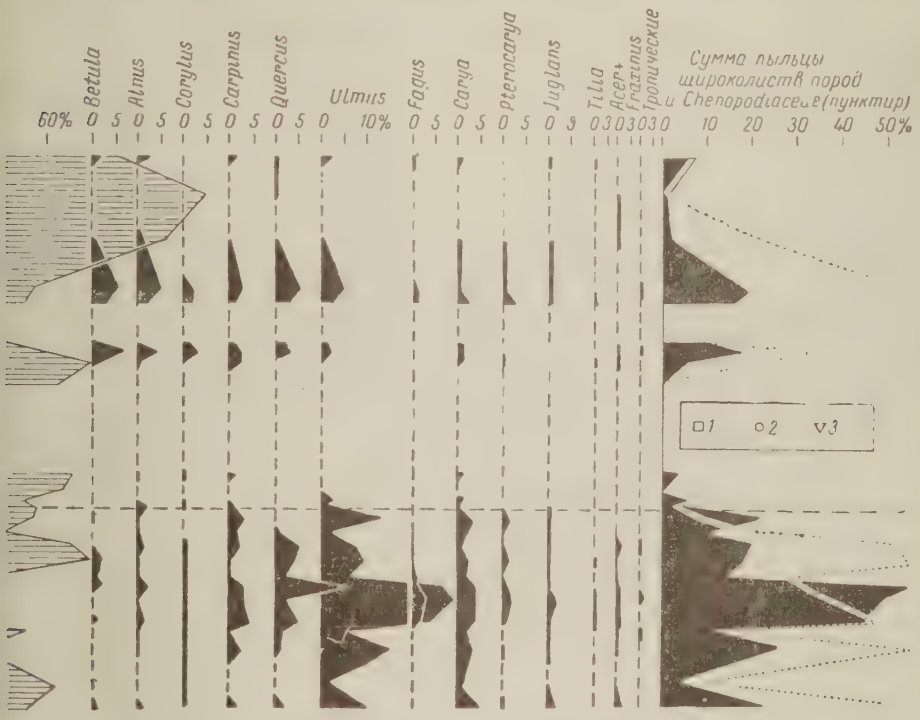
Рис. 1. Спорово-пыльцевая диаграмма плиоценовых отложений на

них достигает максимума (22—24 рода), причем здесь встречены единичные пыльцевые зерна представителей сем. Magnoliaceae и Proteaceae. Обращает на себя внимание максимум пыльцы Abies (до 12—13%), Quercus, а также максимум пыльцы Carya и Taxodium. Интересно отметить изменение кривой, отражающей количество пыльцы сем. Chenopodiaceae. Эта кривая почти точно следует за кривой суммы пыльцы широколиственных пород, лишь в верхней части слоя *4* количество пыльцы Chenopodiaceae увеличивается, в то время как пыльцы широколиственных пород становится меньше (образцы №№ 32, 33).

Большое количество пыльцы широколиственных пород (до 56% от общего количества пыльцы древесных пород) и разнообразие ее состава, присутствие пыльцы двух тропических семейств (хотя бы и в виде единичных пыльцевых зерен) позволяют предполагать во время отложения толщи, которую характеризуют описанные спорово-пыльцевые спектры, существование разнообразных по составу широколиственных и хвойных лесов, вероятно субтропического характера. В конце этого времени наблюдается некоторое уменьшение количества пыльцы широколиственных пород, что может свидетельствовать о похолодании климата.

Вторая группа спорово-пыльцевых спектров меотиса, характеризующая отложения верхнего меотиса (образцы №№ 28—22), отличается заметным увеличением в спектрах роли пыльцы древесных пород при резком обеднении ее состава (до 6—10 родов). Почти исчезает пыльца Taxodium, уменьшается количество пыльцы Carya, Ulmus и других широколиственных по-

. Общее количество пыльцы широколиственных пород уменьшается до 6%. Одновременно уменьшается количество пыльцы Chenopodiaceae 5—14%. В то же время резко возрастает количество пыльцы Picea, достигая максимума (29%). Несколько снижается роль пыльцы Abies. Все особенности указывают на изменение в облике растительности, увеличение облесенности за счет возрастания роли хвойных пород (Picea, Pinus, Tsuga), что, очевидно, было обусловлено похолоданием климата, приуроченным ко времени отложения верхнего меотиса.



м. Ченгулек. *1* — пыльца древесных пород, *2* — пыльца трав, *3* — споры

Отложения понтического яруса охарактеризованы спорово-пыльцевыми анализами лишь в верхней части. Спектры этой части отложений относятся к спектрам лесного типа, количество спор в них по сравнению со спектрами меотических отложений несколько увеличивается (до 10—11%). Для спектров этой зоны характерен максимум пыльцы кедра и тсуги (5—% от общего количества пыльцы древесных пород). Роль пыльцы широколиственных пород невелика (1—17%), число родов древесных пород не превышает 17. Эти особенности спорово-пыльцевых спектров понтических отложений позволяют предполагать преобладание хвойных пород в лесах (вероятно, существовали хвойные леса с примесью широколиственных пород). Киммерийские отложения характеризуются спорово-пыльцевыми спектрами лесного типа с незначительным участием спор. В нижней части толщи наблюдается значительное разнообразие пыльцы древесных пород (образец № 43—17 и образец № 46—22 рода), пыльца широколиственных пород составляет 16—24% от всей пыльцы древесных, что говорит о распространении формаций широколиственных лесов при сравнительно влажном и теплом климате. Еще выше по разрезу в спектрах роль пыльцы широколиственных пород резко уменьшается, число родов древесных пород снижается до 5—14, исчезает пыльца ряда широколиственных пород (Ulmus, Fagus, Juglans), уменьшается роль пыльцы Picea, количества пыльцы Abies не превышают 1%. Эти особенности указывают на изменение расти-

тельного покрова за счет расширения сосновых лесов, обусловленное, оче видно, значительным изменением климата, приуроченным ко времени отло жения слоя *12*.

Изменение родового состава пыльцы древесных пород в спорово-пыльце вых спектрах изученных отложений можно видеть на следующем списке в который включены все определенные при анализе роды (или семейства древесных пород:

	$N_2^{mt_1}$	$N_2^{mt_2}$	N_2^{pt}	N_2^{kmr}		$N_2^{mt_1}$	$N_2^{mt_2}$	N_2^{pt}	N_2^{kmr}
Taxodium	+	+	+	+	Acer	+			+
Podocarpus	+	+		+	Ilex	+			+
Tsuga	+	+	+	+	Ulmus	+	+	+	+
Pinus	+	+	+	+	Zelcova	+			
Picea	+	+	+	+	Ostrya				+
Abies	+	+	+	+	Tilia	+		+	+
Cedrus	+	+	+	+	Juglans	+	+		+
Betula	+		+	+	Pterocarya	+	+	+	+
Carpinus	+	+	+	+	Celtis	+			
Corylus	+	+	+	+	Carya	+	+	+	+
Alnus	+	+	+	+	Rhus	+	+	+	+
Quercus	+	+	+	+	Nyssa	+		+	
Fagus	+		+	+	Magnoliaceae	+			
Elaeagnus	+		+		Moraceae	+			+
Fraxinus	+		+		Proteaceae	+			

Всесоюзный научно-исследовательский институт природного газа

Поступило 29 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] N. Andrussow, Зап. Минералогич. общ., **43**, 289 (1905).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

В. Н. МОШКИН, В. Ф. ЗУБКОВ и В. В. ШИХАНОВ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ ДЖУГДЖУРСКИХ АНОРТОЗИТОВ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 19 IX 1960)

В южной части хр. Джугджура и в восточной части хр. Станового распо-гаются крупнейшие в нашей стране массивы анортозитов и габбро-ортозитов общей площадью 9000—10000 км ^{2}.

Геологическое строение данного региона характеризуется широким рас-остранением архейских и нижнепротерозойских стратифицированных и трузивных образований. Архейские породы, слагающие юго-восточную раину Алданского щита, представлены главным образом пироксенсодер-щими кристаллическими сланцами и гнейсами.

Нижнепротерозойские стратифицированные образования, среди кото-х основную роль играют роговообманковые и биотитовые гнейсы и ам-болиты, слагают зону древнего складчатого обрамления Алданского щи-(зону Становика — Джугджура).

В основном в пределах этой же зоны располагаются и протерозойские трузии, среди которых выделяются (от древних к более молодым) габбро-фиболиты и пироксениты Майско-Джанинского комплекса и гранитоиды кварцевые диориты Древнестанового Токско-Алгоминского и Марагай-ого комплексов.

Кроме архейских и нижнепротерозойских образований в пределах опи-ваемого района выделяются синийские, палеозойские и мезозойские оса-чные, вулканогенные и интрузивные породы.

В структурном отношении анортозитовые массивы располагаются в ос-вном на стыке Алданского щита с зоной Становика — Джугджура (Глав-й массив) и во внутренних частях этой зоны (Сехтагский и Лавлинский ссивы). Лишь отдельные значительно более мелкие тела располагаются еди архейских образований юго-восточной окраины Алданского щита.

Вопрос о возрасте джугджурских габбро-анортозитов, имеющий весь-большое значение для понимания истории геологического развития ре-она, до последнего времени являлся нерешенным и вызывал острую дис-ссию у дальневосточных геологов.

А. К. Матвеев ([5]) и А. А. Леонтович ([2]) считали анортозиты архейскими. С. Бернштейн, В. И. Натаров и В. А. Диомидова, А. П. Лебедев и Н. В. влов ([1]), а также И. П. Карташев ([3]) относили анортозиты и габбро-анор-иты Джугджурского комплекса к палеозою, связывая их формирование каледонской или древнегерцинской эпохами складчатости. Третьей точки ения придерживались Л. И. Красный ([4]) и В. Н. Мошкин ([6]), считавшие угджурские анортозиты протерозойскими.

В большинстве случаев все эти определения возраста базировались шь на общих геологических соображениях, так как прямых данных о тношении анортозитов с вмещающими породами было явно недоста-но.

Исследования, проведенные в последние годы авторами, а также Г. Т. тариновым, В. А. Сысоевым и А. М. Сусловым, позволили установить

характер контактов анортозитов с архейскими, протерозойскими и синий ескими образованиями и таким образом решить вопрос о возрасте джугд журских анортозитов.

Соотношение анортозитов с архейскими пироксенсодержащими кристал лическими сланцами и гнейсами установлено В. Н. Мошкиным, Г. Т. Тата риновым и В. В. Шихановым в бассейне верхнего течения р. Учур. Архей ские породы на контакте с анортозитами подвергаются интенсивной анортс зитизации, выражающейся в перекристаллизации, обогащении породы основ ными плагиоклазами и обеднении цветными минералами (пироксенами и био титом). В результате процессов анортозитизации образуется сложная гам ма пород, дающих непрерывный переход от кристаллических сланцев анортозитам. Среди анортозитов нередко встречаются ксенолиты (реликты архейских кристаллосланцев.

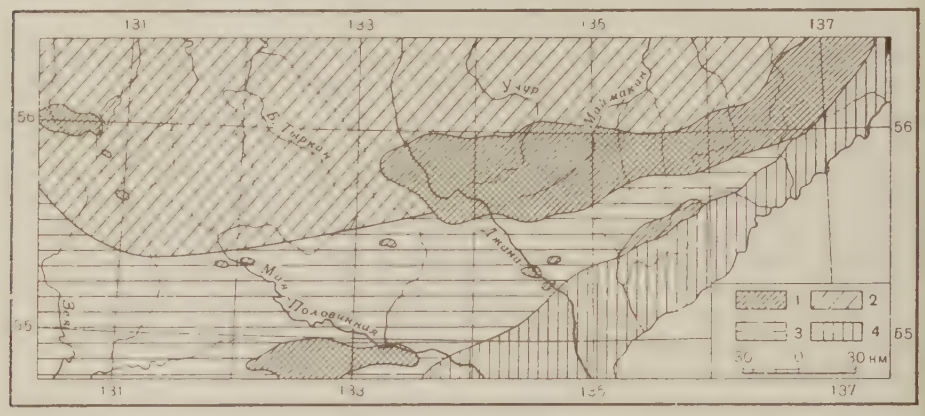


Рис. 1. Схема структурного положения анортозитовых массивов Джугджурского комплекса. *1* — анортозиты, *2* — юго-восточная окраина Алданского щита, *3* — зона протерозойского складчатого обрамления Алданского щита (зона Становика — Джугджура), *4* — Монголо-Охотская складчатая область

Джугджурские анортозиты являются более молодыми также и по срав нению с нижнепротерозойскими гнейсами и амфиболитами, так как ксено литы этих пород, по наблюдениям В. Н. Мошкина, содержатся среди анор тозитов Сехтагского массива (бассейн р. Маи-Половинной).

Значительный интерес представляет собой соотношение джугджурски анортозитов с габбро-амфиболитами Майско-Джанинского комплекса Прежде оба эти комплекса считались нами одновозрастными. Однако в по следние годы В. Н. Мошкиным, А. М. Сусловым и В. В. Шихановым уста новлено, что анортозиты моложе пород Майско-Джанинского комплекса и в ряде случаев развиваются по габбро-амфиболитам и амфиболитам, мета соматически замещая их. При этом наблюдаются все стадии указанного процесса: от появления в габбро-амфиболитах отдельных порфиробласто плагиоклаза до полного замещения их мономинеральными анортозитами Промежуточные разности пород, характеризующиеся резкой неоднородно стью состава и структуры, представляют собой, по существу, своеобразны анортозитовые «мигматиты» по габбро-амфиболитам. В отдельных места (р. Вангу-Чан) наблюдаются четкие секущие жилы анортозитов среди габ броидов Майско-Джанинского комплекса.

Наиболее спорным являлся вопрос о взаимоотношении анортозито с древнестановыми гранитоидами. Работы, проведенные в 1958—1959 гг В. Ф. Зубковым и В. Н. Мошкиным в бассейне р. Аюндо (приток р. Кунду ми), позволили установить эти соотношения и решить вопрос о верхней воз растной границе джугджурских анортозитов.

Бассейн р. Аюндо захватывает краевую часть Главного анортозитового ссива, контактирующего здесь с протерозойскими габбро-амфиболитами йско-Джанинского комплекса. Характер соотношения анортозитов с габ-амфиболитами аналогичен вышеописанному.

В контактовой зоне широко распространены породы, образующие не-рывный ряд от габбро-амфиболитов до анортозитов. Часто встречаются ртозитовые «мигматиты». Все эти породы прорваны крупным телом древ-тановых гранитоидов, занимающим всю южную часть бассейна р. Аюндо ходящим за его пределы.

В зоне контакта с ним как габбро-амфиболиты, так и анортозитовые гматиты», связанные постепенными переходами с мономинеральнми анор-итами, окварцованы, ослюднены и пронизаны согласными и секущими лами древнестановых гранитоидов.

Аналогичная картина, по данным В. Ф. Зубкова, наблюдается и на Нагим.

Таким образом, можно считать установленным, что джугджурские анор-зиты сформировались в нижнем протерозое после интрузии габбро-амфи-литов Майско-Джанинского комплекса, но раньше образования древне-тановых гранитов.

Как показали исследования В. Н. Мошкина, формирование Джуг-урского комплекса анортозитов и габбро-анортозитов захватило, по-ви-мому, длительный промежуток времени и проходило в две (а может быть олее) стадии. В первую стадию сформировались темные анортозиты и габ-о-анортозиты с плагиоклазом лабрадорового и андезин-лабрадорового со-ава. В следующую стадию за счет этих пород, а также частично за счет жнепротерозойских амфиболитов и габбро-амфиболитов, развиваются бе-е и розовато-белые анортозиты, состоящие из андезина и олигоклаз-ан-зина, а также соссюрита.

Следует отметить, что такие же выводы получены Г. Н. Баженовой, учавшей в 1959 г. анортозиты Олекма-Каларских массивов, располагаю-хся в западной части зоны Становика — Джугджура.

В связи с имеющимися в литературе ошибочными данными И. П. Карта-ва ([3]) о послесинийском возрасте Джугджурских анортозитов, считаем бходимым коснуться вопроса о соотношении анортозитов с раннесиний-ими (предгонамскими) интрузиями гранитоидов.

В 1957—1958 гг. в бассейне р. Учур В. В. Шиханов установил, что ука-нные гранитоиды прорывают анортозиты и габбро-анортозиты. Граниты пределах контактовой зоны частично ассимилируют анортозиты и габ-о-анортозиты, обогащаясь цветными минералами и плагиоклазом. Не-дко в них содержатся ксенолиты интенсивно измененных анортозитов. нортозиты вблизи контакта с гранитами окварцованы, серицитизированы, оритизированы и микроклинизированы. Среди анортозитов наблюдаются лы и мелкие прожилки раннесинийских гранитов.

Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт
Дальневосточное геологическое управление

Поступило
17 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. П. Лебедев, Н. В. Павлов, Джугджурский анортозитовый массив, 57. [2] А. А. Леонтович, Н. А. Раков, Тр. ДВ базы АН СССР, сер. геол., 1948. [3] И. П. Карташев, Матер. по геол. и полезн. ископ. северо-востока СР, в. 2, 1957. [4] Л. И. Красный, Информацион. сборн. ВСЕГЕИ, 1956, № 3. А. К. Матвеев, П. Д. Шкляев, В. А. Кузьмичев, Тр. ДВ базы АН СССР геол., 1, 1948. [6] В. Н. Мошкин, В кн. Геологическое строение СССР, 2, 1958. В. Н. Мошкин, Матер. годичной сессии Ученого Совета по результатам работ 1958 г., , 1960.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

А. А. НИКОНОВ

РАЗЛИЧИЯ В ДИНАМИКЕ И ЭНЕРГИИ СЕВЕРНОГО И ЮЖНОГО ФРОНТОВ СКАНДИНАВСКОГО ЛЕДНИКОВОГО ПОКРОВА

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 18 X 1960)

Исследования на севере и северо-востоке Фенноскандии в последние годы дали материал, свидетельствующий об отличии динамики и энергии скандинавского ледникового покрова на северной его периферии по сравнению с южной.

Наиболее показательны в этом отношении различия в распространении ледниковых покровов, в экзарационной деятельности материкового льда и во времени омертвения последнего ледникового покрова.

Распространение ледниковых покровов. Во время одной из ранних ледниковых эпох северо-восток Фенноскандии и Кольский полуостров захватывались новоземельским ледниковым покровом ([17], [12]), распространившимся на расстоянии порядка 1000 км к юго-западу и югу, а не скандинавским покровом, хотя центр последнего располагался всего в нескольких сотнях километров к юго-западу и на юг этот покров продвинулся не менее чем на 1500 км.

Во время первой стадии последнего оледенения (или средней ледниковой эпохи) скандинавский ледниковый покров на севере не достигал побережья или проникал местами на шельф всего на несколько десятков километров ([3], [15]). В Баренцевом море ледниковый покров не проникал далее 200-метровой изобаты ([6]), на п-о. Канин не распространялся ([8]). На востоке самым отдаленным пунктом нахождения валунов пород Кольского полуострова во второй сверху морене являются Тиманский кряж и левобережье р. Печоры ([13],[17]). Иными словами, скандинавский ледниковый покров в северных направлениях распространялся на расстоянии порядка 500 км, в восточных 1000—1200 км, между тем как к югу несомненные следы его, как известно, прослеживаются в удалении 1500—1700 км от ледораздела.

Во время последнего оледенения (последней стадии) льды скандинавского центра, по данным ряда исследователей ([4],[1],[8]), не распространялись на восточную часть Кольского полуострова и п-о. Канин, тогда как к югу они продвинулись опять-таки несоизмеримо дальше ([3],[29],[17],[18],[2]). Конусы рассеивания валунов на севере Фенноскандии, где лед двигался к северу и северо-востоку, составляют несколько десятков километров ([28],[21],[9]); в южном и юго-восточном направлениях зафиксировано рассеивание скандинавских валунов на сотни и многие сотни километров ([3],[17],[18]).

Таким образом, на протяжении всей истории скандинавского оледенения северный и северо-восточный фронт покрова был гораздо более ограничен в своем распространении по сравнению с южным и юго-восточным фронтом.

Экзарационная деятельность скандинавского ледникового покрова. Принято считать, что вся Фенноскандия является областью ледниковой экзарации. Между тем известны многочисленные признаки ограниченного проявления экзарации во внут-

них частях северо-восточной Фенноскандии. К ним относится сохранение
ры выветривания мощностью в несколько десятков метров в бассейне
Инари, в верховьях р. Лотты, у пос. Ковдор, Апатиты, относимой к до-
дниковому времени ([28,26,23,29,14]).

Элювий кристаллических пород, нередко обнаруживаемый под неиз-
нной мореной последнего оледенения мощностью 3—10 м, на западе Коль-
ого полуострова имеет возраст не моложе последнего межледниковья.
К югу от скандинавского ледораздела подобные образования, несмотря
лучшую изученность территории, не обнаруживаются, хотя известны
ельные находки под(меж)моренных глин и песков ([19,2]).

Лапландия и Кольский полуостров несут гораздо менее яркие морфоло-
еские следы ледниковой экзарации по сравнению с Финляндией и Ка-
лией ([4,23,29,15,2]). Бараньи лбы, друмлины, котловины выпахивания и
ьговый рельеф, чрезвычайно характерные для Финляндии и Карелии,
ти отсутствуют в Лапландии и на Кольском полуострове, за исключе-
ем северного побережья, где следы интенсивной экзарации обусловлены
ким морфологическим уступом.

Средняя мощность морены последнего оледенения на севере и северо-
токе Фенноскандии составляет 3—5 м ([28,9]), в Карелии и Финляндии 10—
м ([29,2]), а за пределами Балтийского щита достигает нескольких десятков
тров. Поскольку морена в пределах Фенноскандии состоит преимущест-
но из местного материала ([28,29,15,2]), то величину экзарации коренных по-
последним ледниковым покровом можно считать эквивалентной. Во
ком случае, это справедливо в отношении северной Фенноскандии, где
чительного выноса материала за пределы суши не было. К югу от ледо-
дела толщина срезанного слоя пород могла быть больше, так как часть
териала вынесена за пределы Балтийского щита.

Все эти факты согласно свидетельствуют о меньших величинах экзара-
и на северном фронте скандинавского покрова по сравнению с южным.

Омертвение последнего ледникового покро-
в северной Фенноскандии, согласно позднейшим исследова-
ям ([22,5,30]) и данным автора, произошло в то время, когда он еще имел
щность в несколько сот метров. В материковых частях северо-восточной
ти Фенноскандии лед потерял способность к движению по крайней мере
трансгрессии портландия (время аллерод, 10000—11000 лет назад),
о всей вероятности — значительно раньше ([11]). В южной и центральной
тях Финляндии в то же время ледниковый покров сохранял активность.
этом свидетельствуют: 1) отнесение стадиальных гряд Сальпаусселька
времени аллерод – древнейший дриас, т. е. 10000—13000 лет назад
[27]); 2) связь возникновения радиальных озов внутри дуг Сальпаус-
ька с активным льдом ([20,25]).

Подтверждением различного характера исчезновения ледникового по-
ова на южной периферии по сравнению с восточной и северной служит
утствие стадиальных гряд Сальпаусселька в пределах Карелии ([2]),
утствие, по исследованиям автора, их аналогов на западе Кольского по-
острова, вопреки предположениям М. А. Лавровой ([7]).

Отступание южного края ледникового покрова фактически означало на-
пление там послеледниковых условий, между тем как на западе Коль-
ого полуострова окончательное растаивание льда произошло лишь в до-
реальное и бореальное время, т. е. 10 000—8000 лет назад ([10,11]).

Следовательно, исчезновение льда на северном фронте покрова происхо-
ло медленнее, чем на южном.

Все отмеченные различия в динамике и степени экзарации на разных
онтах одного покрова нельзя считать случайными. Они не могут быть
ъяснены преимущественно различиями в рельефе территории, поскольку
следние невелики по сравнению с мощностью ледникового покрова.

Рассмотренные различия невозможно не ставить в связь с географическим
ложением фронтов, обусловившим интенсивность природных процессов.

Несомненно, что в полярных условиях расход вещества ледникового покрова происходил гораздо медленнее, чем в средних широтах, из-за чего и приход вещества, пока покров был активным, на севере задерживался. Иными словами, энергия оледенения на северном фронте скандинавского покрова была значительно слабее, чем на южном фронте.

Это может служить хорошим подтверждением и дальнейшим развитием применительно к ледниковым покровам одного центра представлений П. А. Шумского об энергии оледенения и ее тесной зависимости от географического положения ледникового покрова ([16]).

Близость к центру оледенения и связанные с этим большие мощность льда и продолжительность его существования не были решающими факторами в продолжительности и степени воздействия ледникового покрова на подстилающую поверхность.

Кольский филиал им. С. М. Кирова
Академии наук СССР

Поступило
17 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. И. Апухтин, Матер. по геологии и полезн. ископ. Сев.-Зап. СССР, в. 1, 1957, стр. 68. [2] Г. С. Бискэ, Четвертичные отложения и геоморфология Карелии, Петрозаводск, 1959. [3] И. П. Герасимов, К. К. Марков, Ледниковый период на территории СССР. М.— Л., 1939. [4] А. А. Григорьев, Тр. Совета по изуч. производит. сил, сер. Кольская, в. 4 (1932). [5] К. В. Зворыкин, М. И. Лопатников, Вестн. Московск. унив., сер. физ:-мат. и естеств. наук, № 5, в. 8, 149 (1950). [6] М. В. Кленова, Тр. Сов. секции Международн. ассоциации по изуч. четвертичн. периода, в. 4, 3 (1939). [7] М. А. Лаврова, Четвертичная геология Кольского п-ова, М.— Л., 1960. [8] Е. М. Люткевич, Геология Канина п-ва, М., 1953. [9] А. А. Никонов, Изв. Карельск. и Кольск. фил. АН СССР, № 2, 62 (1958). [10] А. А. Никонов, ДАН, 125, № 4, 866 (1959). [11] А. А. Никонов, Р. М. Лебедева, ДАН, 128, № 1, 148 (1959). [12] А. А. Никонов, Вопр. геоморфологии и геологии осадочного покрова Кольского п-ва, Апатиты, в. 1, 1960. [13] Ю. Л. Рудовиц, Бюлл. комисс. по изуч. четвертичн. периода, № 9, 15 (1947). [14] А. В. Сидоренко, Доледниковая кора выветривания Кольского п-ва, М., 1958. [15] У. Хольтедаль, Геология Норвегии, 11, 1958. [16] П. А. Шумский, Энергия оледенения и жизнь ледников, М., 1947. [17] С. А. Яковлев, Основы геологии четвертичных отложений Русской равнины, М., 1956. [18] С. В. Яковлева, Матер. по четвертичн. геол. и геоморфологии СССР, нов. сер., в. 1, 1956, стр. 18. [19] E. Aurola, Bull. Comm. geol. Finl., № 144 (1949). [20] T. Brenner, Fennia, 68 (1944). [21] H. Hausen, Fennia, 45 (1925). [23] C. Mannerfelt, Geografiska Annaler, 26, 1—2 (1945). [23] E. Mikkola, Fennia, № 57 (1932) [24] K. Mölder, K. Virkkala, V. Valovirta, Bull. Comm. geol. Finl., № 178 (1957). [25] R. Repo, Bull. Comm. geol. Finl., № 179 (1957). [26] M. Sauramo, Bull. Comm. geol. Finl., № 86 (1929). [27] M. Sauramo, Ann. Acad. Scient. Fenn., ser. A, 3, 51 (1958). [28] V. Tanner, Bull. Comm. geol. Finl., № 38 (1915). [29] V. Tanner, Bidrag tell Känned af Finlands Natur och folk, Heft 86, Hels. (1938). [30] K. Virkkala, Acta Geografica, № 14 (1955).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

А. И. СЕМЕНОВ и Ю. М. ШУВАЛОВ

О ВОЗРАСТЕ КРЫК-КУДУКСКОЙ ИНТРУЗИИ В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ

(Представлено академиком Д. И. Щербаковым 1 IX 1960)

В период с 1955 по 1959 гг. авторы при проведении геологических исследований в Северном Казахстане занимались сравнительно детальным изучением (при участии В. Д. Малова, М. Г. Харламова и В. С. Малявкина) Крык-Кудукской интрузии и вмещающих ее вулканогенных и осадочных толщ. Изучение проводилось на основе геологического картирования с использованием материалов аэрофотосъемки.

Одним из результатов выполненных работ являются новые данные о возрасте Крык-Кудукской интрузии, которые могут иметь важное значение при изучении истории развития магматизма и связанного с ним рудообразования на территории Северного Казахстана.

Крык-Кудукский массив интрузивных пород является одним из крупнейших в Северном Казахстане; его площадь на современном эрозионном срезе составляет около 1200 км². Он сложен преимущественно биотитово-роговообманковыми кварцевыми диоритами, которые на отдельных участках имеют постепенные переходы в одних случаях к гранодиоритам, плагиогранитам и редко к гранитам, а в других — к гибридным породам, приближающимся по составу к диоритам, габбро-диоритам, габбро и габбро-норитам. Гибридные породы среднего и основного состава особенно широко распространены в эндоконтактовых зонах и вблизи сохранившихся провесов кровли в центральной части массива. Это свидетельствует об интенсивных процессах ассимиляции и контаминации магмой вмещающих пород, в частности эффузивов и туфов основного состава.

Первые сведения о возрасте Крык-Кудукской интрузии были получены Р. Э. Квятковским в 1936 г. при проведении мелкомасштабной геологической съемки в восточной части Северного Казахстана. Он считал, что Крык-Кудукская интрузия прорывает нижнепалеозойские отложения до карадокского возраста включительно. Кроме того, на значительном удалении от Крык-Кудукской интрузии (бассейн р. Селеты) в конгломератах силурийского возраста им были встречены гальки интрузивных пород, близких по составу к породам, слагающим Крык-Кудукский массив. Все это позволило Р. Э. Квятковскому высказать предположение о нижнесилурийском возрасте Крык-Кудукской интрузии и связи ее с проявлениями таконских фаз складчатости.

В более позднее время Крык-Кудукский массив интрузивных пород привлекал внимание многих исследователей (Ю. А. Билибин и Т. В. Билибина; В. И. Гоньшакова [1]; Н. А. Фогельман, К. А. Шахворстова; Е. Д. Шлыгин, М. А. Жуков, Р. А. Копяткевич [2]; М. А. Абдулкабирова и др.). Исследованию подвергались отдельные его части, или же он пересекался редкими маршрутами. Специального, систематического изучения массива в целом и вмещающих его пород не производилось. Названными выше исследователями не было получено новых данных о возрасте этой интрузии и по этому

вопросу они присоединялись к мнению Р. Э. Квятковского. Иногда они подкрепляли это мнение сравнением Крык-Кудукской интрузии с малыми интрузиями диоритов, которые в восточной части Северного Казахстана прорывают отложения карадокского возраста. Малые интрузии, на которые даются ссылки, как показали наши исследования, существенно отличаются от Крык-Кудукской интрузии по составу пород, положению в геологических структурах и по возрасту. П. Н. Кропоткин ([3]) в обобщающей работе по геологии и тектонике Северного Казахстана допускал нижнедевонский возраст наиболее крупных массивов гранитоидов этого района.

В результате выполненного нами более детального изучения района Крык-Кудукской интрузии выяснилось, что возраст ее более древний в сравнении с тем, который предполагался нашими предшественниками. Фактические данные, подкрепляющие это положение, следующие:

1. Крык-Кудукский массив интрузивных пород, имеющий длину около 70 км и ширину в среднем 30 км, приурочен к ядру крупной антиклинальной структуры, ось которой ориентирована в направлении, близком к меридиональному. Ядро этой антиклинали сложено кембрийскими, а крылья — ордовикскими отложениями. Оказалось, что отложения кембрийского возраста распространены в этом районе значительно шире, чем это считалось ранее, особенно к востоку от Крык-Кудукского массива. В частности, участок между п. Сталинским и Крык-Кудукским массивом сложен исключительно кембрийскими отложениями, среди которых выделяется две свиты: вулканогенно-осадочная нижнекембрийского возраста и диабазово-порфиритовая — среднекембрийского возраста.

Вулканогенно-осадочная свита сложена метаморфизованными сланцами, аргиллитами, алевролитами и песчаниками с линзами мраморизованных известняков и редкими горизонтами (в верхней части разреза свиты) туфов и базальтовых порфиритов.

Западнее п. Сталинского в слоистых аргиллитах и в песчаниках этой свиты обнаружены остатки спор, представленных по определению Ю. А. Алюшинского: Trachyoligotriletes nevelensis Tim., Trachyoligotriletes obsoletus (Naum.) Tim., Stenosonoligotriletes validus Tim. Эти формы характерны для отложений раннего кембрия.

Отложения вулканогенно-осадочной свиты согласно перекрываются эффузивами и туфами основного состава, входящими в состав диабазово-порфиритовой свиты. Восточнее п. Сталинского на породах диабазово-порфиритовой свиты залегает кремнисто-яшмовая свита верхнекембрийского возраста.

К востоку от Крык-Кудукского массива на кембрийских отложениях с резким несогласием залегают фаунистически охарактеризованные отложения среднего ордовика.

2. Крык-Кудукская интрузия прорывает и интенсивно метаморфизует вдоль всего восточного контакта породы вулканогенно-осадочной и диабазово-порфиритовой свит кембрийского возраста. Вдоль западного контакта на юге от кардона Белая Лошадь и до пос. Карасу она также прорывает и метаморфизует кембрийские отложения, а севернее — вулканогенные образования порфиритовой свиты ордовикского возраста. В верхней части разреза этой мощной свиты в прослоях осадочных пород в ряде пунктов (к востоку от пос. Лидовка, к западу от оз. Атансор и в других местах) встречены органические остатки нижнеландейльского возраста. Большая мощность отложений порфиритовой свиты дает основание предполагать, что отложения нижней и средней частей ее разреза имеют более древний возраст.

Отложения карадокского яруса, охарактеризованные фауной, соприкасаются с интрузивными породами Крык-Кудукского массива лишь на одном участке — к юго-востоку от оз. Алабасколь. Протяженность контакта между ними около 6 км. Исследованиями установлено, что интрузия на карадокские породы никакого воздействия не оказывает и соприкасается с ними по тектоническому контакту.

Следовательно, Крык-Кудукская интрузия нигде не прорывает отложений моложе нижнеландейльского возраста.

3. К востоку от пос. Кербай, недалеко от восточного контакта Крык-Кудукской интрузии, в конгломератах, залегающих среди фаунистически охарактеризованных верхнекарадокских отложений, встречены гальки биотитово-роговообманковых кварцевых диоритов, гранодиоритов и меланократовых гибридных пород. Все эти разновидности интрузивных пород, встреченных в виде галек в конгломератах, характерны, как указывалось, для Крык-Кудукского массива.

4. Определение абсолютного возраста пород Крык-Кудукского массива в Радиевом институте АН СССР (лаборатория Л. В. Комлева) аргоновым методом по биотиту дало цифру 500 млн. лет ([1]). В нашем институте (лаборатория Н. И. Полевой) для биотитово-роговообманкового кварцевого диорита (валовая проба) тем же аргоновым методом получена цифра абсолютного возраста 450 млн. лет.

Следовательно, приведенные фактические материалы, хорошо согласующиеся между собой, вполне определенно свидетельствуют о докарадокском возрасте Крык-Кудукской интрузии. Можно предполагать среднеландейльский, а может быть и более древний ее возраст. Последнее предположение основывается на том, что Крык-Кудукская интрузия прорывает отложения средней и нижней частей разреза порфиритовой свиты, не охарактеризованные фауной и лишь условно относимые к нижнему ландейло. Возможно, что эти отложения окажутся более древними, и, соответственно, возраст рассматриваемой интрузии будет более древним, чем среднеландейльский.

Всесоюзный научно-исследовательский геологический институт

Поступило
1 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. И. Гоньшакова, Тр. Инст. геол. наук АН СССР, в. 107, петрографич. сер., № 31 (1950). [2] М. А. Жуков, Р. А. Копяткевич, Е. Д. Шлыгин, Вестн. АН КазССР, № 6 (1959). [3] П. Н. Кропоткин, Тектоника СССР, 1, Изд. АН СССР, 1948, стр. 231. [4] Н. И. Полевая, Сов. геол., № 11 (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

М. Н. ЧУГАЕВА

О ПАЛЕОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕРХНЕГО ПОЛОВИННОГО КАМНЯ (ПРАВЫЙ БЕРЕГ КОЛЫМЫ)

(Представлено академиком Н. С. Шатским 4 VII 1960)

Верхний Половинный камень представляет собою ряд живописных утесов, тянущихся вдоль правого берега р. Колымы, в 50—55 км выше Среднеколымска. Эти обнажения впервые были описаны С. В. Обручевым во время его экспедиции по р. Колыме в 1928—1929 гг. Он выделил здесь нижнесилурийские (ордовикские) и верхнесилурийские (силурийские) образования. К ордовику были отнесены брекчиевидные известняки с прослоем граптолитовых сланцев. Вышележащие известняки с табулятами относились к силуру. Собранных во время этой поездки граптолитов описал Б. Н. Аверьянов ([1]), он пришел к выводу об аренигском возрасте нижней части разреза.

Последующие исследователи — Н. П. Атласов и К. К. Демокидов, В. Н. Королев и др.— при проведении съемочных работ стали рассматривать разрез В. Половинного камня как один из наиболее полных для ордовика и силура и указывали на возможный переход между отложениями этих систем. К. Я. Спрингис ([6]), касаясь вопросов нижнепалеозойского вулканизма, приводил разрез В. Половинного камня, считая ордовикским возраст развитых здесь вулканогенных пород.

При проведении стратиграфических исследований нам удалось установить, что в В. Половинном камне обнажаются среднеордовикские и девонские образования, контактирующие по разрывному нарушению. Кроме того, туфы и туффиты, встречающиеся в этом разрезе, имеют не ордовикский, как отмечал К. Я. Спрингис ([6]), а девонский возраст. Собранные во время полевых исследований граптолиты определялись А. М. Обутом (Ленинградский университет), брахиоподы М. А. Ржонсницкой, табуляты В. Н. Дубатоловым (Сибирское отделение АН СССР), ругозы — В. А. Сытовой (Московский университет).

По своему тектоническому положению обнажения В. Половинного камня представляют собою одну из структур Западного крыла Приколымского поднятия ([5]). Ордовикские отложения здесь слагают пологую антиклиналь субмеридионального простирания, в ядре которой выходят красновато-бурые конгломераты и песчаники мощностью до 20 м. На восточном крыле структуры выше них залегают:

1. Желтоватый брекчиевидный известняк . . . . . Мощность 7 м.
2. Темные плотные известково-глинистые сланцы . Мощность 2—3 м.
3. Серый брекчиевидный известняк . . . . . Мощность 3—5 м.
4. Темные мягкие тонкоплитчатые сланцы с Didymograptus cf. geminus (His.), Did. sp. indet. Isograptus sp., Diplograptus (s. l.) sp. indet., Trigonograptus ensiformis (Hall), Phyllograptus aff. typus (Hall), Cryptograptus sp. indet., Caryocaris sp. . . . . Мощность 0,5—2 м.
5. Светлые трещиноватые и брекчиевидные известняки . . . . . Видимая мощность 30—40 м.

Граптолиты, встреченные в этом разрезе, датируют возраст отложений как верхнеланвирский. Несколько более молодые образования, охарактеризованные уже нижнеландейловскими граптолитами, встречены на западном крыле структуры, где в прослое сланцев, лежащем, по-видимому,

стратиграфически выше, чем только что описанный, присутствуют Climacograptus sp., Glossograptus aff. hincksi (Hopkinson).

Суммарная мощность ордовикских отложений в В. Половинном камне не превышает 80—100 м, чем этот разрез существенно отличается от разрезов других структур обрамления Колымского срединного массива. По своему возрастному значению вышеописанные ордовикские отложения В. Половинного камня могут быть сопоставлены с сиенской свитой Омулевских гор ([2]) и, возможно, тарынюряхской свитой Селенняхского кряжа. Однако в обоих этих разрезах мощность отложений превышает 600—800 м, в то время как в В. Половинном камне мощности в несколько раз сокращаются. Это, по-видимому, указывает на существенную разницу условий осадконакопления в ордовике в структурах западного и восточного обрамления Колымского срединного массива. Стратиграфически выше ордовикских отложений в разрезе В. Половинного камня выделяется серия карбонатных пород девона, которые слагают крупную моноклиналь субмеридионального простирания с углами падения 40—50 . Снизу вверх в ее строении участвуют:

1. Серые толстопластовые коралловые известняки с Favosites (Dictyofavosites, multitabulatus Dubat., F. (D.) Tschernajaensis Dubat., F. (D.) sp. . . . . Мощность 30—40 м.

2. Серые доломитизированные известняки и коричнево-бурые мергели . . . . . Мощность 185 м.

3. Темно-серые известковистые песчаники и плитчатые мергели с Chonetes sp. indet., Gypidula sp. indet., Atrypa tascanensis Nal., A. kolymensis Nal. . . . . Мощность 35 м.

4. Серые толстопластовые песчанистые известняки с Stropheodonta aff. armata Barr., Atrypa ex gr. reticularis L., Elytha (?) sp. indet . . . . . Мощность 20 м.

5. Серые мергели и известняки с Gypidula biplicata Schnur., Uncinulus ex gr. parallelipipidus Brong., Atrypa ex gr. reticularis L. . . . . Мощность 88 м.

6. Желтоватые доломиты с линзами известняков с Atrypa kolymensis Nal., A. sp. indet., Karpinskia conjugula Tschern., Fascifillum halliaforme Soshk . . . . . Мощность 62 м.

7. Светлые и желтоватые массивные доломиты с марказивыми конкрециями . . . . . Мощность 238 м.

8. Зеленовато-серые тонкозернистые кислые эффузивы . . . . . Мощность 10 м.

9. Темно-серые и зеленоватые мелкозернистые туфы кислых эффузивов . . . . . Мощность 40 м.

10. Красно-лиловые и зеленовато-серые туфы и туфопесчаники. . . . . Мощность 50 м.

11. Серые и желтые массивные известняки, переполненные Lonophyllum parvum (Mark), Astrophyllum cf. iroislense Soshk., Grypophyllum sp. . . . . Мощность 30 м.

12. Красновато-лиловые неяснослоистые туфы кислых эффузивов с крупными до 20 см в диаметре хорошо окатанными валунами розовых и серо-лиловых известняков с хорошо сохранившимися Schizophoria cf. bistriata Tschern., Schelwienella umbraculum (Schloth.), Productella mesodevonica Nal., Clorindina sp., Uncinulus pentagonus (Kayserl, Septalaria aff. proserpina Barr., Hypothyridina (?) sp., Atrypa ex gr. desquamata Sow., Spinatrypa bifidaeformis Tschern , Punctatrypa oloae sibirica Rzon., Delthyris sp. indet., Eoreticularia ex gr. indifferens Barr. . .Мощность 120 м.

Вышележащие отложения срезаны проходящим здесь тектоническим нарушением. Мощность девонских отложений в В. Половинном камне достигает 890—900 м.

Девон В. Половинного камня сопоставляется с наиболее изученными к настоящему времени разрезами Омулевских гор ([1,2]). В основании девона в обоих разрезах, как и во многих других районах развития девонских

отложений на Северо-Востоке СССР, широкое развитие имеют коралловые известняки, выделенные А. А. Николаевым ([4]) в Омулевских горах как нелюдимская свита. Послойные сборы кораллов из этой свиты показывают, что в низах ее имеют развитие верхнелудловские формы, в то время как выше их сменяет нижнедевонский комплекс кораллов. В дальнейшем нелюдимская свита по кораллам, по-видимому, может быть расчленена на две части, сейчас же ее возраст считается соответствующим верхам силура — низам девона. Прекрасно прослеживается в В. Половинном камне вечернинский комплекс брахиопод со всеми его характерными формами. Пелосская свита в Омулевских горах охарактеризована чрезвычайно слабо, отчего найти ее аналоги в описываемом разрезе довольно трудно. Возрастной интервал, соответствующий верхнеэйфельской урультунской свите, палеонтологически не охарактеризован в В. Половинном камне. Однако выше в этом разрезе залегают вулканогенные породы, содержащие в глыбах известняка комплекс брахиопод, датирующий возраст отложений как самые верхи эйфеля, возможно живет. Эти отложения могут быть сопоставлены с красноцветными доломитами и ангидритами вояхской свиты относимой в Омулевских горах к живетскому ярусу.

Рис. 1. Сопоставление разрезов девонских отложений Верхнего Половинного камня и Омулевских гор. *1* — известняки, *2* — коралловые известняки, *3* — мергели, *4* — известняково-глинистые сланцы, *5* — доломиты, *6* — ангидриты, *7* — туфы кислых эффузивов

Сравнивая разрезы Омулевских гор и В. Половинного камня, можно отметить, что в отличие от ордовикских отложений, когда в последнем разрезе существенно сокращаются мощности, для девона характерно, что по своему строению и мощностям (рис. 1) оба разреза достаточно близки между собой. Существенное различие наблюдается лишь в верхах среднего девона, когда в Омулевских горах отлагались красноцветные образования, а на западном крыле Приколымского поднятия — туфы и туффиты, что сближает разрез В. Половинного камня с разрезами Омолонского массива ([3]), где широко развит девонский вулканизм.

Таким образом, в геологическом развитии западного и восточного обрамления Колымского срединного массива наблюдается существенное различие, заключающееся в значительном сокращении мощности ордовикских образований, почти полном отсутствии силура, за исключением самых его верхов, и появлении вулканогенных пород в верхах среднего девона.

Поступило
29 VI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. Н. Аверьянов, Тр. совета по изуч. производит. сил, сер. якутская, в. 11, Изд. АН СССР, 1932, стр. 29. [2] Н. А. Богданов, М. Н. Чугаева, Изв. АН СССР, сер. геол., № 6 (1960). [3] В. Г. Крылов, Я. П. Мисанс. Тр. совещ. в Магадане, 1957. [4] А. А. Николаев, Матер. по геол. и полезн. иск. Сев. вост. СССР, № 12, 1958. [5] Е. С. Постельников, Ю. М. Пущаровский, Бюлл. МОИП, отд. геол., № 6 (1959). [6] К. Я. Спрингис, Тектоника Верх. Колымской скл. области, 1958. [7] М. Н. Чугаева, ДАН, 137, № 1 (1961).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОЛОГИЯ

ШИ ЯН-ШЕНЬ

ОТЛОЖЕНИЯ ФАМЕНСКОГО ЯРУСА В РАЙОНЕ р. БЕЛЕУТЫ (ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАЗАХСТАНА)

(Представлено академиком Н. С. Шатским 8 VII 1960)

При геологических исследованиях средне-верхнепалеозойских толщ Южного Улутау в 1959 г. были найдены остатки фауны, позволившие выделить горизонт фаменского яруса из состава широко развитых в районе нижнекаменноугольных отложений.

Горизонт пород фаменского яруса имеет здесь небольшую мощность (20—30 м) и занимает сравнительно незначительную площадь, так как он протягивается преимущественно в виде узких полос, вытянутых вдоль бортов средне-верхнепалеозойских наложенных мульд. Фаменские отложения с угловым несогласием залегают не только на породах эффузивной толщи девона, но и на протерозойских образованиях и нижнепалеозойских отложениях (см. рис. 1).

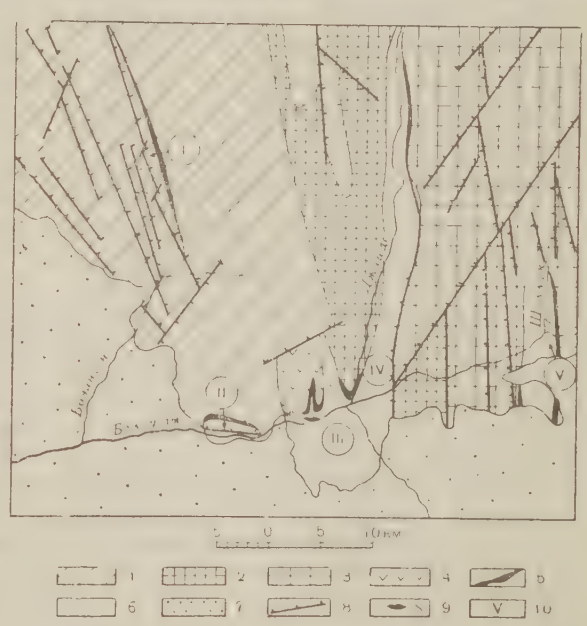


Рис. 1. Схема распространения фаменских отложений в районе бассейна р. Белеуты. *1* — нижнепалеозойские отложения, *2* — нижнепротерозойские образования, *3* — средне-верхнепротерозойские образования, *4* — девонские эффузивно-вулканогенные образования, *5* — участки выходов пород фаменского яруса верхнего девона, *6* — нижне- и среднекаменноугольные отложения, выполняющие наложенные мульды, *7* — мезо-кайнозойские отложения, *8* — разломы, *9* — точка местонахождения остатков фауны, *10* — места расположения разрезов, изображенных на рис. 2

Толщи фаменского яруса в изученном районе представлены терригенными морскими отложениями с подчиненными прослоями карбонатных пород, содержащих остатки фауны. Разрез горизонта фаменских отложений, как правило, начинается базальными конгломератами. Лишь изредка в основании разреза конгломераты фациально замещаются алевролитами, содержащими небольшое количество обломков и плохо окатанных галек подстилающих пород. Базальные части горизонта расположены обычно в бортах наложенных структур.

Конгломераты представлены грубогалечными, иногда брекчиевидными породами лилового цвета. Галька различна по величине и неравномерно окатана. Состав ее неоднороден и тесно связан с составом подстилающих пород.

Там, где конгломераты залегают, например, на нижнепалеозойских породах, в гальке преобладают нижнепалеозойские песчаники, сланцы, кремнистые породы, тогда как в участках налегания конгломератов на девонские эффузивы галька представлена почти исключительно обломками эффузивных пород. Местами в конгломератах наблюдаются линзовидные прослои алевролитов такого же лилового цвета, имеющие мощность 1—2 м и протяженность по простиранию порядка 10—15 м. Мощность конгломератов достигает 15 м.

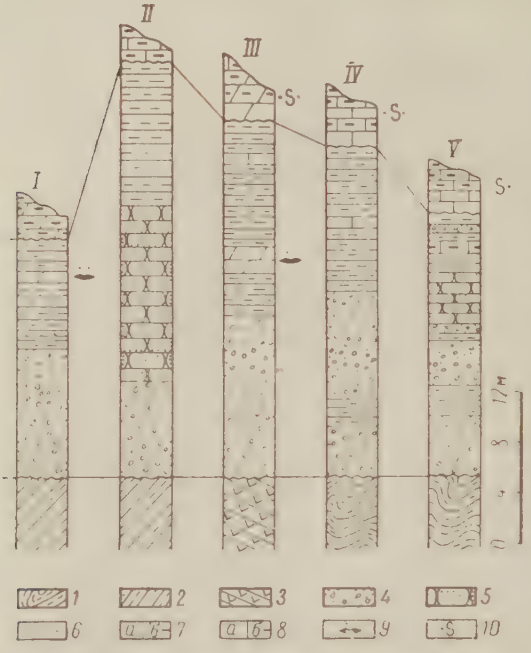


Рис. 2. Схема сопоставления разрезов фаменских отложений района бассейна р. Белеуты. *1* — докембрийские образования, *2* — нижнепалеозойские отложения, *3*— девонские эффузивно-вулканогенные образования, *4* — конгломераты фаменского яруса, *5* — песчаники фаменского яруса, *6* — алевролиты фаменского яруса, *7*: *а* — доломитовые известняки, *б* — окремненные доломитовые известняки, *8*: *а* — известняки; *б*— окремненные известняки, *9* — остатки фауны брахиопод в разрезах, *10* — остатки микрофауны форминифер в разрезах

Выше залегает пачка алевролитов такого же лилового цвета, которые по простиранию нередко фациально замещаются неравнозернистыми песчаниками или даже гравелитами кварцево-полевошпатового состава. Песчаникам и гравелитам свойственна розовато-лиловая окраска. В разрезах этой пачки наблюдаются прослои плитчатых доломитовых известняков серого цвета. Мощность данных прослоев составляет 0,4—0,8 м. Мощность всей пачки изменяется от 10 до 20 м.

Пачка алевролитов трансгрессивно, с размывом, но без углового несогласия, перекрыта фаунистически охарактеризованными карбонатными породами турнейского яруса нижнего карбона.

Для иллюстрации строения горизонта фаменских отложений Южного Улутау ниже приводятся некоторые характерные разрезы горизонта (рис. 2).

Восточный борт Бозингенской мульды. На подстилающих сланцах и алевролитах верхнего ордовика залегают (снизу вверх):

1. Лиловые конгломераты с галькой сланцев и алевролитов ордовика и, в меньшей степени, кремнистых пород кембрия. . . Мощность 0—10 м.

2. Алевролиты лилового цвета, содержащие линзу доломитовых известняков с остатками брахиопод плохой сохранности . . . . Мощность 8—9 м.

В отдельных участках правого борта Бозингенской мульды разрез сокращен и представлен одними алевролитами, непосредственно налегающими на отложения верхнего ордовика.

3. Выше залегают темно-серые окремненные доломитовые известняки турнейского яруса.

Общая мощность фаменских отложений достигает здесь 19 м.

Северный борт Белеутинской мульды. На верхнеордовикских отложениях с угловым несогласием залегают (снизу вверх):

1. Лиловые конгломераты, содержащие окатанную гальку верхнеордовикских отложений и девонских эффузивов . . . . . Мощность 7 м.

2. Вверх по разрезу, а иногда и по простиранию, конгломераты постепенно переходят в средне- и крупнозернистые песчаники кварцево-полево-

шпатового или полимиктового состава, нередко содержащие обломки подстилающих пород. Иногда песчаники залегают непосредственно на отложениях верхнего ордовика . . . . . Мощность 12—14 м.

3. Песчаники постепенно сменяются лиловыми алевролитами . . . . . Мощность 10 м.

4. Выше с размывом залегают окремненные известняки турнейского яруса.

Суммарная мощность отложений фаменского яруса составляет здесь 29—31 м.

Юго-западный борт Джийдинской мульды на правом берегу р. Белеуты. На девонских эффузивных породах с размывом и угловым несогласием налегают (снизу вверх):

1. Конгломераты лилового цвета, выклинивающиеся в восточном направлении. Неравномерно окатанные и различные по величине гальки представлены почти исключительно порфиритами девона . Мощность 15 м.

2. Лиловые алевролиты . . . . . Мощность 5 м.

3. Серые тонкоплитчатые известняки с остатками фауны брахиопод, по определениям В. Н. Крестовникова и О. Л. Эйнора (произведенным независимо одно от другого), представленными Spirifer dada Nal., Sp. platinotus Nal. non Weller, которые, по их мнению, характерны для верхов фаменского яруса . . . . . Мощность 0,8 м.

4. Лиловые алевролиты . . . . . Мощность 8 м.

5. Серые тонкоплитчатые известняки . . . . . Мощность 0,5 м.

6. Лиловые алевролиты . . . . . Мощность 4 м.

7. Выше трансгрессивно залегают светло-серые окремненные доломитовые известняки турнейского яруса нижнего карбона, содержащие остатки микрофауны, среди которых в коллекции автора Е. А. Рейтлингер определила Parathurammina ex gr. cushmani Sul., характерную, по ее мнению, для фамена или низов турне и чаще всего встречающуюся в Чихвинской свите Русской платформы. В этих же известняках, по данным О. Л. Эйнора и А. С. Иванушко, известны: Tournayella sp., Septatournayella aff. minuta Lip., Septaglomospiranella aff. primaeva Raus., Endothyra aff. antiqua Raus.,— указывающие, по их мнению, на нижнетурнейский возраст.

Суммарная мощность фаменских отложений составляет здесь 32—33 м.

Пор. Джийде в южной части Джийдинской мульды. На нижнепротерозойских отложениях резко несогласно залегают (снизу вверх):

1. Лиловые базальные конгломераты, нередко имеющие брекчиевидную текстуру. Галька плохо окатана. В составе ее преобладают докембрийские образования (кварциты, метаморфические сланцы и т. д.). Конгломераты очень не выдержаны по простиранию. Иногда в них наблюдаются линзовидные прослои лиловых алевролитов . . . . . Мощность 0—17 м.

2. Алевролиты лилового цвета, содержащие линзовидные прослои серых плитчатых известняков . . . . . Мощность 11 м.

Суммарная мощность достигает 28 м.

На фаменских отложениях трансгрессивно залегают окремненные известняки, содержащие микрофауну турнейского яруса карбона.

Восточный борт Шоллакской мульды. На верхнепротерозойских образованиях резко несогласно залегают (снизу вверх):

1. Лиловые конгломераты, нередко содержащие плохо окатанную гальку.

В составе гальки наблюдаются исключительно верхнепротерозойские образования. Местами в конгломератах наблюдаются линзовидные прослои алевролитов такого же лилового цвета, имеющие мощность 1—2 м и протяженность по простиранию порядка 10—15 м . . . . Мощность 10 м.

2. Вверх по разрезу конгломераты переходят в средне-крупнозернистые песчаники кварцево-полевошпатового состава. Пачка песчаников по простиранию выклинивается.. . . . . Мощность 5 м.

3. Лиловые алевролиты с прослоем серого плитчатого окремненного известняка, имеющего мощность 0,5 м. Иногда в пачке алевролитов встречаются линзовидные прослои гравелитов, мощностью не более 1 м.

Суммарная мощность достигает 19 м.

Алевролиты с небольшим размывом трансгрессивно перекрыты светло-серыми и плитчатыми известняками, содержащими микрофауну турнейского яруса нижнего карбона.

Сопоставление приведенных разрезов показывает, что отложения фаменского яруса, расположенные в бортах наложенных мульд, достаточно однообразны в пределах различных мульд. Во всех исследованных разрезах установлена одна и та же последовательность залегания пород, весьма сходных по своему вещественному составу, структурным и текстурным особенностям.

Описанная толща представляет собой естественный стратиграфический комплекс, приуроченный к наложенным мульдам и резко несогласно налегающий на различные более древние образования. В то же время верхняя граница комплекса четко отбивается трансгрессивно залегающими на нем породами турнейского яруса. Собранные же автором окаменелости, по мнению В. Н. Крестовникова, позволяют отнести рассмотренные выше отложения к самым верхам фаменского яруса. Это мнение В. Н. Крестовникова хорошо согласуется с данными, полученными при сопоставлении разрезов, изученных автором, с разрезами фаменских отложений других районов Центрального Казахстана, где они были исследованы Н. В. Литвинович и М. В. Мартыновой ([1],[2]) и где собранные нами окаменелости характерны для самых верхних частей фаменских отложений.

Развитые в других районах Центрального Казахстана фаменские отложения представлены главным образом карбонатными породами. Мощность различных разрезов изменяется от 100 до 1500 м ([2]).

Таким образом, в районе бассейна р. Белеуты (Южный Улутау) развит сокращенный разрез фаменских отложений, отличающийся от прочих известных разрезов преобладанием пестроцветного терригенного материала. Выделенные автором фаменские отложения хорошо поддаются картированию и всегда имеют отчетливые резкие границы с подстилающими и перекрывающими толщами.

Геологический институт
Академии наук СССР

Поступило
2 VII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. В. Литвинович, М. В. Мартынова, Сов. геол., Сборн. 45, 1955, стр. 78. [2] М. В. Мартынова, Сов. геол., Сборн. 52, 1956, стр. 85.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОХИМИЯ

В. В. АВЕРЬЕВ, С. И. НАБОКО и член-корреспондент АН СССР Б. И. ПИЙП

СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ МЕТАМОРФИЗМ В ОБЛАСТЯХ АКТИВНОГО ВУЛКАНИЗМА

Для областей активного вулканизма характерно широкое развитие гидротермальных процессов, следствием которых является современный гидротермальный метаморфизм вулканогенных пород.

Гидротермальные процессы в этих областях приурочены: 1) к аппаратам вулканов с современным газопроявлением [2]; 2) к местам разгрузки глубинных гидротерм, часто разобщенных с аппаратами вулканов.

В настоящей статье мы остановимся на втором типе гидротермального процесса.

В последние годы такие мощные современные месторождения гидротерм, как Вайракей в Новой Зеландии и Паужетские на Камчатке, разведуются глубокими буровыми скважинами с целью их энергетического использования. Благодаря этому появилась возможность изучения структуры очагов разгрузки гидротерм, их химической дифференциации и глубинного гидротермального метаморфизма пород. Гидротермы упомянутых месторождений имеют близкий химический состав и принадлежат к определенному типу: минерализация их не более 4 г/л, состав натрово-хлоридный, они обогащены кремневой и борной кислотами, содержат углекислоту, сероводород и азот. Их аналогами являются широко известные гейзеры Камчатки и Исландии, источники Йеллоустонского парка и ряд других. Температура гидротерм на глубине сотен метров достигает в отдельных случаях, как, например, в Новой Зеландии, 265°. Метаморфизм вулканогенных пород на упомянутых месторождениях имеет близкий характер и выражается в фельдшпатизации, цеолитизации и аргиллизации пород.

Излагаемые соображения основаны на результатах изучения гидротерм Паужетского месторождения на Камчатке с учетом данных по месторождению Вайракей в Новой Зеландии, которое посетил один из авторов.

Паужетские гидротермы приурочены к троговой впадине с амплитудой опускания свыше 1000 м, заполненной вулканокластикой верхнетретичночетвертичного возраста. Очаг разгрузки гидротерм находится у подножья вулкано-тектонического поднятия Камбального хребта, возникшего в центре трога в четвертичное время. С этим поднятием связывается нагрев подземных вод и обогащение их эндогенными эксгаляциями. Очаг нагрева и ближайшие действующие вулканы — Кошелева и Камбальный — удалены от места разгрузки гидротерм на расстояние нескольких километров.

По основным динамическим показателям паужетские гидротермы относятся к водам артезианского типа. В глубоких зонах очагов разгрузки гидротермы существуют только в жидкой фазе, что обусловлено высоким пластовым давлением. Так, на Паужетском месторождении максимальной температуре 190°, определенной на глубине 270 м, соответствует пластовое давление, равное 28 атм., что на 15 атм. выше давления насыщенного пара. Влияние температуры на движение гидротерм в таких условиях сказывается в снижении вязкости в 10—15 раз по сравнению с холодной водой, что значительно облегчает циркуляцию гидротерм по порам пород.

Воздействие температурного фактора ярко проявляется при приближении гидротерм к поверхности Земли. В этих условиях в связи со снижением давления получают развитие процессы парообразования. Средний уровень

парообразования на Паужетской термальной площадке находится на 120 м ниже поверхности Земли. На месторождении Вайракей, где температура достигает 265°, парообразование происходит еще глубже — на 300 м и более. В крупных трещинах пар образуется значительно ниже среднего положения указанных уровней. Таким образом, в верхней зоне очагов разгрузки глубинных гидротерм, измеряемой сотнями метров, наравне с жидкой водой существует также паровая фаза.

С особенностями динамики гидротерм, обусловленными парообразованием, тесно связаны процессы их химической дифференциации и изменения щелочности — кислотности. В глубоких зонах очагов разгрузки гидротермы характеризуются слабокислой реакцией. Это обусловлено нахождением в их составе растворенного CO_2. Концентрация CO_2 в гидротермах Паужетки и Вайракей достигает на глубине 70 м 250 мг/л, что соответствует ~ pH 6. В зоне парообразования CO_2, а также H_2S и другие газы практически полностью переходят в паровую фазу, и растворы приобретают слабо щелочной характер (pH 8—9). Паровая фаза по химическому составу резко отличается от натрово-хлоридной воды, от которой она отделилась, (табл. 1). Растворы, образующиеся в поверхностной зоне при конденсации пара в ходе химической эволюции, становятся кислыми, существенно сульфатными, за счет окисления сероводорода.

Параллельно с изменениями химизма в зоне парообразования происходит резкое падение температуры, которая при выходе гидротерм на поверхность снижается до 100°. Всё вместе взятое позволяет выделить в очагах разгрузки высокотемпературных гидротерм три термодинамические зоны, а именно: зону существования гидротерм в жидкой фазе, зону парообразования и зону конденсации пара. Каждая из выделенных зон, как было показано выше, характеризуется специфическими гидрохимическими чертами.

Изменение кислотности — щелочности гидротерм и их состава, являющееся функцией глубинности, определяет вертикальную метасоматическую зональность в метаморфизме пород, а резкое различие в составе воды и конденсата пара — специфичность минералообразования. По характеру изменений в породах намечаются три зоны — аргиллитовая, цеолитовая и пропилитовая, в общем совпадающие с термодинамическими зонами.

По данным бурения, на Паужетском месторождении гидротермальному метаморфизму подверглись туфы дацитов и андезитов, имеющие различную структуру и гранулометрический состав. Наиболее интенсивное минералообразование развивается в пористых литокластических туфах. В плотных кристаллокластических туфах дацита новообразование минералов незначительно и развито преимущественно по трещинкам и в пустотах.

Самая верхняя — зона аргиллизации — имеет мощность около 3 м. На поверхности образуются красные глины, состоящие из каолинита и лимонита, под ними голубые глины, обогащенные сульфидами железа. В обоих случаях часто сохраняется структура первоначальной породы. Аргиллизация пород происходит под воздействием кислых конденсационных сульфатных растворов и выражается в интенсивном кислотном выщелачивании с выносом из породы Na, K, Ca и Mg и концентрации в ней Al и Fe. Верхний горизонт глин обогащен Ti и Mn, нижний — несколько Mg, вероятно за счет примеси к каолиниту монтмориллонита.

В зоне цеолитизации (30—250 м) широкое развитие имеют ломонтит и адуляр и меньшее — кальцит, хлорит и гипс. Основная масса минералов развивается по цементу. Плагиоклаз частично замещается адуляром, в большей части оставаясь свежим. При адуляризации плагиоклаза образуется кальцит. Гематит в зоне цеолитизации замещен мушкетовитом, одновременно с этим переотлагается магнетит. По периферии зерен ильменита развивается лейкоксен; пирит редок. Цеолитизация на глубинах 30—250 м происходит под воздействием ощелаченных в результате парообразования натрово-хлоридных растворов с температурой 100—190°.

При образовании цеолитов химическое изменение породы весьма незна-

чительно с привносом в основном воды. Калиевый метасоматоз (K_2O в измененной породе до 5% вместо 1% в свежей) с образованием адуляра возникает в интервале 150—30 м, где происходит резкое падение температуры (с 190 до 120°) ощелаченных растворов. Интенсивность обогащения пород калием стоит в обратной зависимости от глубинности и температуры.

Адуляризация плагиоклаза вместо альбитизации на Паужетке вызвана, вероятно, более сильным понижением растворимости хлорида калия по сравнению с хлоридом натрия при падении температуры раствора, что относительно повышает коэффициент активности калия ([1]).

С глубины 240 м количество ломонтита уменьшается, почти исчезает адуляр, широкое развитие приобретает хлорит и кальцит и спорадически встречаются гидрослюды, гипс, цеолиты, халцедон. Во всей зоне резко возрастает количество пирита, гематит замещен мушкетовитом, ильменит нацело лейкоксенизирован; наблюдаются новообразования анатаза, брукита и реже рутила. Породы приобретают зеленоватый оттенок. Такой характер современного гидротермального метаморфизма мы определяем как пропилитизацию.

На Паужетке в каждом литологическом комплексе пропилитизация имеет свои особенности (см. табл. 2). Этому способствует также некоторое изменение в химическом составе гидротерм в глубоких зонах (см. табл. 1). В целом же пропилитизация на глубине 250—800 м протекает под воздействием слабокислых (pH ~6) хлоридных вод с небольшим количеством сульфатов, содержащих в растворе CO_2 и H_2S и имеющих температуру 150—190°.

Таблица 1

Состав воды и конденсата с различных глубин скважины на Паужетском месторождении (в граммах на литр)

	Поверхность, поровый раствор	Глуб. 120—132 м		Глуб. 300—400 м		Глуб. 300—800 м, вода
		вода	конденс.	вода	конденс.	
H	0,0016					
NH_4	—	0,0007	0,0160	0,0007	0,0030	0,0007
Na + K	0,0351	0,9766	0,0229	0,9398	0,0200	0,8326
Ca	0,3392	0,0532	0,0040	0,1192	0,0012	0,1578
Mg	0,0567	0,0049	0,0042	0,0070	—	0,0046
R_2O_3	Оч. мин.	—	—	—	—	—
сумма		1,0354	0,0411	1,0667	0,0242	0,9957
Cl	1,0500	1,5400	0,0420	1,4700	0,0158	1,2806
SO_4	8,1600	0,0550	0,0122	0,1642	0,0048	0,3629
H_2O^-	—	0,0180	0,0366	0,0121	0,0237	0,0134
CO_2	—	0,0244	—	0,0708	0,0060	0,0201
сумма	9,6410	1,6370	0,0908	1,7171	0,0503	1,6770
H_2SiO_3	0,4200	0,1377	0,0021	0,1703	0,0015	0,1474
HBO_2	0,0066	0,1150	Нет	0,1265	Не отн.	0,1107
CO_2	—	Нет	0,0248	—	—	—
Общая минерализация		2,9000	0,13	3,0766	0,0760	2,9308
Гидрохимическая формула	$M = \frac{SO_4}{R_2O_3}$	$M_{2,9} = \frac{Cl_{95}}{Na_{93}}$	$M_{0,13} = \frac{Cl_{58} \cdot HCO^4_{30}}{Na_{47}NH^4_{27}}$	$M_3 = \frac{Cl_{84}}{Na_{86}}$	$M_{0,08} = \frac{Cl_{39} \cdot HCO^3_{35}}{Na_{77}NH^4_{18}}$	$M_{2,9} = \frac{Cl_{91}}{(Na+K)_{91}}$
pH	1,97	8,1	6,0	—	—	—

В химическом отношении в пропилитовой зоне происходит резкое обогащение пород серой, углекислотой и водой и локальное — кремнием, кальцием и железом.

На месторождении Вайракей гидротермальное минералообразование имеет отличные от Паужетки черты. Сверху вниз следуют морденит, ломонтит, вайракит (кальциевый аналог анальцима), альбит с кальцитом по плагиоклазу, адуляр и в основании зоны — гидрослюды. Образование адуляра в Новой Зеландии имеет значительно большее развитие, чем на Паужетке, и приурочено к бо́льшим глубинам (210—270 м), где температура достигает 200—213°; это обусловлено более глубоким парообразованием.

Таблица 2

Состав гидротермально измененных пород на Паужетском месторождении

Компоненты	1	2	3	4	5	6
SiO_2	38,00	60,89	58,96	51,36	63,20	54,00
TiO_2	1,32	0,67	0,84	0,93	0,56	0,35
Al_2O_3	32,30	15,44	16,46	15,38	15,37	14,16
Fe_2O_3	13,13	2,33	2,75	5,00	2,27	2,10
FeO	0,55	2,52	2,51	4,60	1,63	2,52
MnO	0,78	0,09	0,14	—	0,15	0,17
MgO	0,15	1,83	2,45	2,50	3,70	3,34
CaO	0,94	4,33	5,12	6,12	5,03	9,25
Na_2O	0,17	2,06	2,50	1,10	4,41	2,48
K_2O	0,12	4,55	1,99	1,11	2,45	2,47
P_2O_5	—	Нет	0,15	—	0,11	
H_2O^-	12,13	0,61	0,81	0,30	0,10	1,07
H_2O^+		3,93	5,18	6,03	1,26	4,10
CO_2	—	0,17	0,10	2,97	0,30	6,55
S	0,15	0,36	0,15	2,54	0,13	1,70
H_2SO_4	0,38	—	—	—	—	—
Сумма	100,12	100,02	100,11	99,88	100,68	104,25

1 — Поверхность Земли; каолинит из зоны аргиллизации; аналитик — Е. П. Рябичкина.
2 — интервал 45 — 47 м; туф дацита с новообразованиями адуляра и ломонтита из верхней зоны цеолитизации; аналитик — В. П. Энман.
3 — интервал 225 — 234 м; туф дацита с новообразованием ломонтита из нижней зоны цеолитизации; аналитик — В. П. Энман.
4 — интервал 317 — 325 м; туф андезита с новообразованиями хлорита, кальцита и пирита из верхней зоны пропилитизации; аналитик — Е. П. Рябичкина.
5 — интервал 382 — 390 м; кристаллокластический туф дацита, плотный, слабо измененный с новообразованиями в пустотах хлорита, кальцита, цеолитов; аналитик — В. П. Энман.
6 — интервал 624 — 630 м; туф андезита с новообразованиями хлорита, кальцита, гидрослюд, пирита из нижней зоны пропилитизации.

Описанный выше гидротермальный метаморфизм в областях современного вулканизма, сходный с околорудным метаморфизмом вулканических толщ в Трансильвании, Закарпатье и других вулканических районах и проявляющийся в пропилитизации, цеолитизации, адуляризации и аргиллизации, протекает в местах разгрузки подземных вод, активизированных высоким нагревом и растворением эндогенных эксгаляций, в общем весьма незначительной минерализации (до 0,4%) с газами CO_2, H_2S и др.

В связи с тем что очаги разгрузки глубинных гидротерм находятся в значительном удалении от очагов их нагрева (что зависит от гидрогеологических условий), формации гидротермально измененных пород могут быть территориально разобщенными с аппаратами вулканов.

Приуроченность гидротерм к троговым впадинам, заполненным в длительное геологическое время вулканокластикой, обусловливает большие мощности гидротермально измененных пород. Обогащение гидротерм сероводородом обеспечивает высаживание из слабо концентрированных растворов сульфидов с обогащением ими гидротермально измененных пород.

Лаборатория вулканологии
Академии наук СССР

Поступило
26 XI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Д. С. Коржинский, ДАН, **133**, 1194 (1960). [2] С. И. Набоко, Тр. Лаб. вулканологии АН СССР, в. 16 (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕОХИМИЯ

В. З. ФУРСОВ

ПОИСКИ СЛЕПЫХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО ОРЕОЛАМ РАССЕЯНИЯ РТУТИ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 6 VII 1960)

В 1955—1956 и в 1959 гг. нами по инициативе А. П. Соловова было проведено изучение ореолов рассеяния ртути над крупными слепыми залежами месторождения Ачисай (Турлан), находящегося в хр. Каратау, на территории Южно-Казахстанской обл. КазССР.

Все рудные залежи Ачисайского месторождения являются слепыми * и залегают на глубине от 10 до 430 м в известняках и доломитах нижнего карбона. Залежи месторождения, сложенные агрегативными рудами, контролируются сложной системой секущих и межпластовых трещин.

Теоретической предпосылкой исследований явились термодинамические свойства ртути, в силу которых пары ее обладают очень высокой упругостью по сравнению с соединениями свинца и цинка. Поэтому при гидротермальных процессах пары ртути, обладая большой подвижностью, могли уходить по трещинам далеко от мест локализации свинцово-цинковых руд, образуя вокруг них более широкие ореолы ртути, чем ореолы свинца и цинка. А. А. Сауков первый указал на возможность такого явления (1).

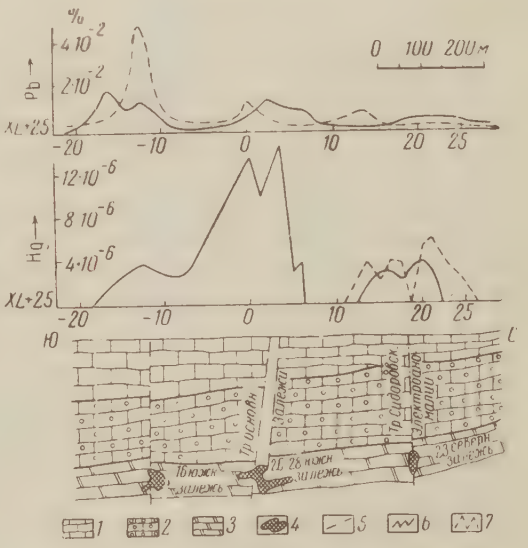


Рис. 1. Содержание ртути и свинца над рудными залежами. *1* — известняки Бельмазарского горизонта $C_1^{t_1-d}$; *2* — известняки Рудничного и Турланского горизонта $C_1^{t_1-c}$; *3* — доломиты Искристого горизонта $C_1^{t_1-b}$; *4* — сульфидная руда; *5* — тектонические трещины; *6* — содержание Hg и Pb в коренных породах; *7* — содержание Hg и Pb в элювио-делювии

Геохимические наблюдения проводились, в основном, по сети 25 × 10 м ** над следующими залежами Ачисая: Основной, 16-й 26-й, и 28-й южными, 23-й северной и Бельдургенсайской (сеть 50 × 20 м).

Пробы отбирались из коренных и рыхлых отложений; мощность рыхлых не превышала 0,4 м. Спектральный анализ проводился М. Б. Бобровой и И. М. Рабинович с чувствительностью $1 - 3 \cdot 10^{-6}$% по методике, предложенной Е. А. Сергеевым и А. П. Степановым (2).

Фоновые содержания ртути, как показали исследования, лежат за пределами чувствительности анализа, поэтому все случаи фиксирования ртути

* Исключая два небольших выхода Основной залежи в глубоких оврагах.

** При приближении к залежам шаг отбора часто сгущался до 5 м.

рассматривались в качестве геохимических аномалий. За аномальное содержание свинца в элювио-делювии и в коренных породах месторождения, на основании многократных исследований, была принята 0,01%.

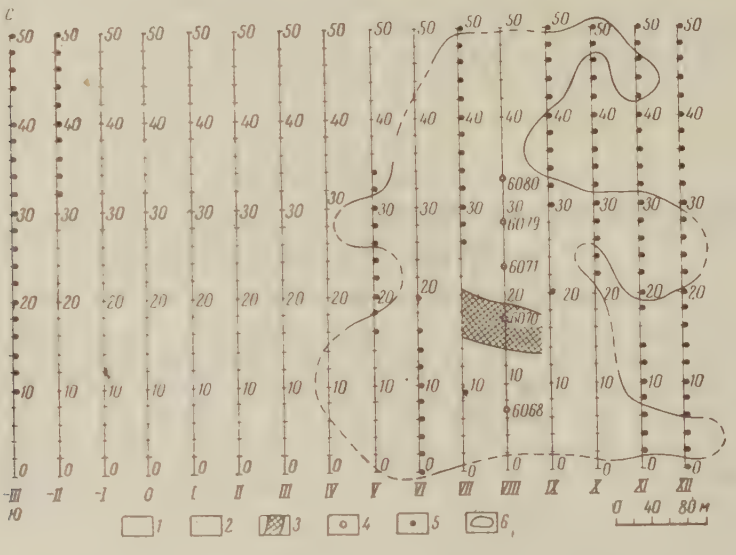


Рис. 2. Ореол рассеяния ртути Бельдургейской залежью. *1* — известняки Бельмазарского горизонта $C_1^{t_1-d}$; *2* — послойная доломитизация; *3* — проекция залежи на поверхность; *4* — скважины; *5* — точки отбора проб в коренных породах; *6* — ореол рассеяния ртути в $1-3\cdot10^{-6}$% в коренных породах

Результаты проведенных исследований, сведенные в табл. 1 и частично проиллюстрированные рис. 1—3, показывают наличие широких ореолов рассеяния ртути над всеми исследованными залежами месторождения. Средние содержания ртути в ореолах над залежами изменяются от 3 до $8\cdot10^{-6}$%, максимальные — от 30 до $50\cdot10^{-6}$%.

Таблица 1

Статистическая характеристика ореолов рассеяния ртути и свинца над слепыми залежами Ачисая

№№ п.п.	Залежи	h, м	$\frac{S_1}{S}$	$\frac{S_2}{S_1}$	Объект опробования	Число проб	Вероятность встречи, %	
							ртуть	свинец, аном. знач
1	Основная	10—90	3,5	1,5	*а*	325	80	55
					б	350	46	61
2	16-я южная	340—400	2	2	*а*	300	70	32
					б	350	0	38
3	26—28-я южные	400—430	1,2	3,2	*а*	357	77	23
					б	450	0	30
4	23-я северная	240—350	0,5	11	*а*	503	81	11
					б	656	3	11
5	Бельдургенсайская	120—180	0		*а*	130	32	0
					б	800	0	0
					в	330	55	15
					Итого . .	4551		

Примечания. I. h — интервал глубин залегания верхней кромки руд; S — площадь горизонтальной проекции залежи, S_1 — площадь ореола свинца, S_2 — площадь ореола ртути. II. *а* — боковые породы рудных тел, поверхность; *б* — элювио-делювий над залежью; *в* — боковые породы рудных тел, скважин

Ореолы рассеяния ртути по коренным породам намного превосходят площадь ореолов свинца в коренных и элювиоделювиальных отложениях *. Вероятность встречи ртути над залежами значительно выше вероятности встречи аномальных содержаний свинца (табл. 1). Особенно это характерно для 23-й северной залежи, где площадь ореолов ртути в 11 раз больше площади ореолов свинца. К тому же на значительной части профилей этой залежи ореолы свинца не наблюдаются (рис. 1).

Как правило, ореолы рассеяния свинца над залежами имеют прерывистый и узколокальный характер, в то время как ореолы ртути выражаются почти одним неразрывным контуром для нескольких близлежащих залежей (рис. 1)

Ореолы рассеяния ртути в элювио-делювии над рудными телами фиксируются в незначительных количествах, что, возможно, объясняется возгонкой ртути в атмосферу вследствие ее высокой летучести.

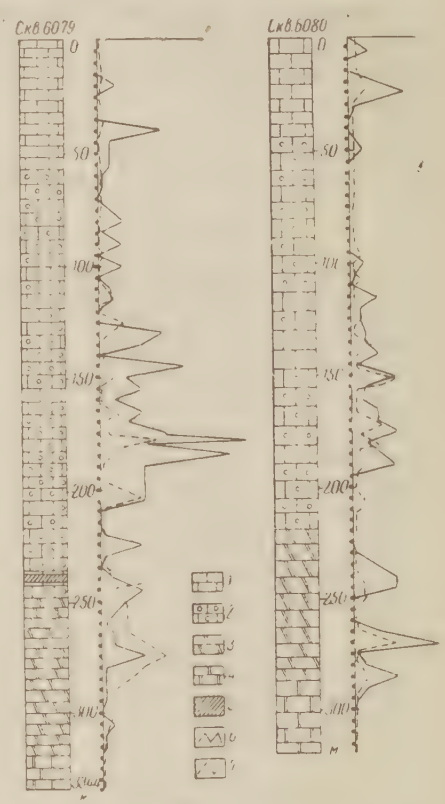


Рис. 3. Содержание ртути и свинца по скважинам. *1* — известняки Бельмазарского горизонта $C_1^{t_1-d}$; *2* — известняки Рудничного и Турланского горизонта $C_1^{t_1-c}$; *3* — доломиты Искристого горизонта $C_1^{t_1-b}$; *4* — известняки Базального горизонта $C_1^{t_1-a}$; *5* — окисленная свинцовая руда; *6* — содержание ртути (1 см = $= 5 \cdot 10^{-6}$%); *7* — содержание свинца (1 см = $= 2 \cdot 10^{2}$%)

Особый практический интерес приобретают результаты геохимической съемки над Бельдургенсайской залежью, где выявлен широкий ореол рассеяния ртути** при отсутствии ореолов рассеяния свинца (рис. 2). Доказательством отсутствия ореолов свинца над залежью с поверхности служит большое количество проанализированных проб из элювио-делювия и коренных пород, в которых содержание свинца не превышало $3—4 \cdot 10^{-3}$%, что является фоном для геохимических условий месторождения. Металлометрической съемкой 1953 г., проведенной по сети 25 × 10 м, на этом участке были также установлены лишь фоновые содержания свинца ***.

Анализ проб керна скважин, расположенных в зоне рудной залежи Бельдургенсай, подтверждает наличие ореолов ртути, которые распространяются выше по вертикали от рудного тела, чем ореолы свинца (рис. 3).

Отсутствие ореолов свинца над залежью объясняется, по-видимому, тем, что соединения свинца не смогли продвинуться вверх до современной поверхности при гидротермальной деятельности в силу недостаточной тектонической трещиноватости перекрывающих пород; пары же ртути, обладая

* Площадь ореолов свинца в коренных породах над залежами равна или немного меньше площади ореолов свинца в элювио-делювии. Ореолы рассеяния цинка по площади распространения имеют подчиненное значение.

** Задернованность не позволила точно оконтурить ореол рассеяния ртути в коренных породах. В элювио-делювии ртуть не установлена.

*** Залежь открыта в 1959 г. при профильном бурении Ачисайской ГРП. Отсутствие ореолов свинца над залежью явилось основной причиной пропуска ее при геофизической съемке 1953 г. (3).

большей упругостью, достигли современной поверхности при тех же тектонических условиях.

Таким образом, использование ореолов рассеяния ртути способно существенно увеличить эффективность и глубинность геохимических поисков слепых свинцово-цинковых, а возможно, и других месторождений цветных металлов гидротермального типа.

Важное практическое и принципиальное значение имеет твердо установленный факт наличия ореолов рассеяния ртути над слепыми свинцово-цинковыми рудными телами при полном отсутствии ореолов рассеяния свинца.

Казахский геофизический трест

Поступило
3 VII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. А. Сауков, Геохимия ртути, М., 1946. [2] Е. А. Сергеев, А. П. Степанов, Обмен опытом, в. 2, Л., 1957. [3] А. П. Соловов, В. З. Фурсов, Сов. геол., № 3 (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ОКЕАНОЛОГИЯ

А. П. КУЗНЕЦОВ

МАТЕРИАЛЫ ПО ЗООГЕОГРАФИИ ПРИКАМЧАТСКИХ ВОД ТИХОГО ОКЕАНА И СЕВЕРНЫХ КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 19 IX 1960)

Зоогеографическая природа морской фауны прикамчатских вод Тихого океана и северных Курильских островов до сих пор изучена крайне недостаточно. В зоогеографической литературе имеется всего лишь одна работа [5]), в которой этот вопрос является предметом специального обсуждения. Во всех остальных работах ([1,2,6,11-18] и др.) он решается только попутно, при установлении границ зоогеографических областей в морях Дальнего Востока или во всей северной части Тихого океана в целом, причем в большинстве случаев он рассматривается лишь на основании анализа зоогеографического состава и распространения отдельных групп животных. А между тем только анализ по возможности всех или большинства представленных в фауне основных групп животных может дать наиболее полное представление о зоогеографической природе обитающей в том или ином районе фауны, о зоогеографической принадлежности региона.

В настоящей работе мы приводим некоторые данные о зоогеографическом составе и характере вертикального распределения различных зоогеографических групп донной фауны — наиболее важного (для решения вопроса о зоогеографической принадлежности района) компонента восточнокамчатской и северокурильской фауны.

Для работы были использованы количественные материалы по донной фауне, собранные на 246 станциях у берегов Восточной Камчатки и северных Курильских островов во время плаваний экспедиционного судна «Витязь» в 1949—1955 гг., а также частично материалы совместной экспедиции Зоологического института АН СССР и Камчатского отделения Тихоокеанского института рыбного хозяйства и океанографии на р/т «Лебедь» (1954 г).

Судя по полученным в результате обработки указанных материалов данным, а также по литературным сведениям ([4,5]), в составе восточнокамчатской и северокурильской донной фауны насчитывается около 1000 видов. Из них только небольшая часть (10—12%) относится к числу массовых и часто встречающихся форм (руководящие и характерные виды), составляющих основу всей донной фауны — ее основное ядро. На долю этой группы видов приходится более 80% всей биомассы донной фауны. Это обстоятельство позволяет, не затрагивая весь видовой состав, использовать для зоогеографической характеристики района только эту качественно немногочисленную, но количественно обильную группу видов. Последняя представлена арктическо-бореальными (30 видов, или 48,3% от числа видов группы руководящих и характерных видов,), бореальными (24 вида, или 38,8%) субтропически-бореальными (2 вида, или 3,2%) и видами со всесветным распространением (6 видов, или 9,7%) *.

Из приведенных данных видно, что для исследованного района в целом характерно преобладание холодноводных арктическо-бореальных видов

* При делении на зоогеографические категории мы исходили в основном из системы А. П. Андриашева ([1]), несколько упростив ее.

над более теплолюбивыми бореальными видами. Доминирование этой группы сохраняется не только в числе видов, но и в их количественном развитии, причем наиболее сильно оно выражено в прибрежной зоне Восточной Камчатки, подверженной непосредственному влиянию холодных вод Камчатского течения. Только с океанской стороны северных Курильских островов, где наиболее сильно сказывается влияние теплых тихоокеанских вод, арктическо-бореальные и бореальные виды получают примерно одинаковое развитие (см. табл. 1).

Таблица 1

Зоогеографический состав донной фауны (по руководящим и характерным видам) района Восточной Камчатки и северных Курильских островов

Географическая принадлежность видов	Восточная Камчатка				Океанская сторона северных Курильских островов				Охотоморская сторона северных Курильских островов			
	а	*б*	*в*	*г*	*а*	*б*	*в*	*г*	*а*	*б*	*в*	
1. Арктическо-бореальные (бинолярные в том числе)	30	51,7	140,9	66,4	23	48,8	145,5	50,4	27	59,4	143,0	56,1
2. Бореальные	24	41,3	86,1	40,6	20	42,5	142,4	49,5	15	33,3	120,4	47,2
Амфибореальные	8	13,8	52,9	25,0	7	14,8	120,1	41,6	5	11,1	42,5	16,7
Северотихоокеанские	16	27,5	33,2	15,6	13	27,7	22,3	7,9	10	22,2	77,9	30,5
3. Субтропическо-бореальные	2	3,4	2,1	1,0	2	4,2	5,7	2,0	1	2,2	0,3	0,1
4. Виды со всесветным распространением	5	8,6	11,5	5,4	4	8,3	3,6	1,2	5	11,1	8,6	3,5
Всего	58	100,0	212,2	100,0	47	100,0	288,2	100,0	45	100,0	255,0	100,0

Примечание. *а* — число видов; *б* — процент от общего числа руководящих и характерных видов; *в* — индекс плотности; *г* — процент от общей суммы индексов плотности руководящих и характерных видов.

Такое соотношение зоогеографических групп животных в составе восточнокамчатской и северокурильской донной фауны хорошо согласуется с особенностями температурного режима вод данного района. По К. А. Виноградову ([4]), П. В. Ушакову ([11]), Д. А. Сметанину ([10]), В. Кукса ([8]), А. Е. Гамутилову ([7]) и др., поверхностные воды в районе Восточной Камчатки и северных Курильских островов имеют летом температуру, обычно не превышающую 10°, охлаждаясь в зимнее время до нулевой и даже отрицательной температуры. На глубине же около 200 м температура большую часть времени удерживается на уровне 0 1°, причем у берегов Восточной Камчатки и с охотоморской стороны северных Курильских островов придонные горизонты нередко имеют зимой и в начале весны даже отрицательную температуру.

Воды с таким температурным режимом П. Ю. Шмидт ([13]) относил к холодным и отчасти даже к максимально холодным водам, включая прибрежную зону Восточной Камчатки и северных Курильских островов в состав холодноводной северотихоокеанской подобласти, которая у Шмидта соответствует северо-бореальной подобласти других авторов. К числу северных холодноводных районов пацифико-бореальной подобласти относил Восточную Камчатку и прилегающие к ней области и В. Н. Бражников ([2]).

Весьма интересным оказалось распределение указанных выше зоогеографических групп донных животных по вертикали. Две основные зоогеографические группы животных — арктическо-бореальные и бореальные виды — имеют прямо противоположное распределение по глубинам.

Каждая из этих групп образует по два максимума количественного развития, приуроченных к определенным глубинам. Максимумы бореальных

видов — к глубинам 0—100 и 250 — 500 м, максимумы арктическо-бореальных — к глубинам 100 — 250 и 500 — 1200 м.

Бореальные виды являются доминирующей зоогеографической группой на глубинах 0 — 100 м во всем районе и на глубинах 250 — 500 м в районе северных Курильских островов. Арктическо-бореальные — на глубинах 100—250 м в районе северных Курильских островов и на глубинах 100 — 1200 м у берегов Восточной Камчатки *. Виды субтропическо-бореальные приурочены исключительно к глубинам 250—500 м (рис. 1). Из бореальных видов на глубинах 0 — 100 м преобладают амфибореальные виды, на глубинах более 250 м — северотихоокеанские.

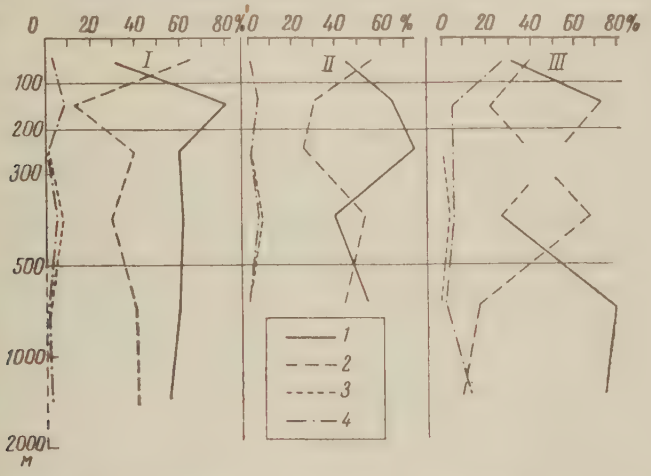


Рис. 1. Распределение по вертикали (в процентах от суммы индексов) различных зоогеографических групп донной фауны (руководящие и характерные виды): *I* — у берегов Восточной Камчатки, *II* — с океанской стороны северных Курильских островов, *III* — с охотоморской стороны северных Курильских островов. *1* — арктическо-бореальные виды, *2* — бореальные, *3* — субтропическо-бореальные, *4* — виды со всесветным распространением

Указанный характер вертикального распределения фауны оказывается вполне оправданным. Так, преобладание и максимумы количественного развития арктическо-бореальных видов на глубинах 100 — 250 и 500 — 1200 м объясняются тем, что здесь удерживаются наиболее низкие придонные температуры: на глубинах 100 — 250 — близкие к нулю, на глубинах более 500 м — около 2 — 2,5°. Как известно, арктическо-бореальные виды, хотя и являются достаточно эвритермными организмами, тем не менее предпочитают все же более низкую (близкую к нулю) температуру, при которой они достигают наиболее высокого количественного развития.

В отличие от арктическо-бореальных, виды бореальные, как более теплолюбивые формы, предпочитают более высокую температуру. Последняя наблюдается в наиболее мелководной, хорошо прогреваемой в весенне-летнее время (период размножения) прибрежной зоне 0 — 100 м, а также на глубинах 250 — 500 м, где распространены воды теплого промежуточного слоя субарктической северо-западнотихоокеанской водной массы, имеющие температуру 3 — 4° ([10]).

Именно поэтому максимумы развития бореальных видов наблюдаются на глубинах 0 — 100 и 250 — 500 м.

При этом преобладание на глубинах 0 — 100 м амфибореальных видов, по-видимому, связано с тем, что они, как организмы более эвритермные,

---

* Соотношение между арктическо-бореальными и бореальными видами у берегов Восточной Камчатки на глубинах 250—500 м требует уточнения.

чем северотихоокеанские виды, легче переносят зимнее охлаждение, которое имеет место в прибрежной зоне 0 — 100 м.

Характерно, что виды субтропическо-бореальные, так же как и северотихоокеанские, имеют максимум своего развития на глубинах 250—500 м, т. е. в той зоне, где наблюдается наиболее высокая постоянная положительная температура.

Таким образом, все сказанное позволяет охарактеризовать донную фауну рассматриваемого района как фауну северобореального типа и выделить в составе прибрежной зоны Восточной Камчатки и северных Курильских островов, относящейся в целом к северобореальной подобласти северотихоокеанской бореальной области, две холодноводные (нижнесублиторальную и нижнебатиальную) и две более тепловодные (верхнесублиторальную и верхнебатиальную) зоны.

Институт океанологии
Академии наук СССР

Поступило
12 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. П. Андрияшев, Очерк зоогеографии и происхождения фауны рыб Берингова моря и сопредельных вод, Л., 1939. [2] В. Н. Бражников, Зап. Акад. Наук, 8 сер., **20**, № 6 (1907). [3] В. А. Бурков, Тр. Инст. океанол. АН СССР, **27** (1958). [4] К. А. Виноградов, Диссертация, М. 1946. [5] К. А. Виноградов, Зоол. журн., **28**, в. 1 (1949). [6] Л. Г. Виноградов, Изв. Тихоокеанск. научно-иссл. инст. рыбн. хоз. и океаногр., **28** (1948). [7] А. Е. Гамутилов, Тр. Инст. океанол. АН СССР, **36** (1959). [8] Л. А. Зенкевич, Тр. Инст. океанол. АН СССР, **12** (1955). [9] В. И. Кукса Тр. Инст. океанол. АН СССР, **36** (1959). [10] Д. А. Сметанин, Тр. Инст. океанол. АН СССР, **27** (1958). [11] П. В. Ушаков, Фауна Охотского моря и условия ее существования, Изд. АН СССР, 1953. [12] П. В. Ушаков, Определитель по фауне СССР, № 56, Изд. АН СССР, 1955. [13] П. Ю. Шмидт, Тр. Тихоокеанск. комитета, **6**, Изд. АН СССР, 1950. [14] W. H. Dall, Sci. Results Expl. Alaska, **1**, № 1 (1876). [15] W. H. Dall, The Fur-Seal and Fur-Seal Island of the North Pacific Ocean, pt. 3, 539 (1899). [16] W. H. Dall, U. S. Nat. Mus., Bull. 112, 1 (1921). [17] Sv. Ekman, Zoogeography of the Sea, London, 1953. [18] A. Ortmann, Grundzüge der marinen Tiergeographie, Jena, 1896.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГИСТОЛОГИЯ

В. Б. ИВАНОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦИОНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ В ГИСТОХИМИИ

(Представлено академиком И. В. Обреимовым 30 IX 1960)

Существует ряд методов для определения на срезе свободных основных рупп белков посредством их окрашивания кислыми красителями при низ-их значениях pH (см., например, ([3])). В основе этих методов лежит способ-ость кислых красителей стехиометрически реагировать с этими группами, результате чего образуются солеобразные соединения.

Однако крашение кислыми красителями является обратимым. При пере-есении среза в раствор с более высоким значением pH или с более низкой онцентрацией красителя часть связанного красителя из среза переходит раствор. Особенно усиливается этот переход при погружении среза в рас-вор спирта. Отсюда следует, что обработка препарата после крашения ифференцировка, т. е. отмывание несолеобразно связанного красителя истым буферным раствором, и обезвоживание, т. е. проведение через ряд астворов спирта возрастающей концентрации) обязательно связана с из-лечением некоторой части солеобразно связанного красителя.

Извлечение идет из различных структур с разными скоростями. Но ско-ость эта не находится в прямой зависимости от количества основных рупп белка в структуре, и поэтому распределение красителя на срезе мо-ет не соответствовать распределению основных групп белков.

До настоящего времени не выяснено, в какой степени отмеченные выше роцессы сказываются при крашении кислыми красителями. Решение этого опроса имеет существенное значение для уверенного использования кис-ых красителей в количественной гистохимии.

В последнее время синтезирована и используется в текстильной про-ышленности группа так называемых реакционноспособных красителей, з которых наиболее активными являются проционовые красители. Имею-иеся данные о свойствах реакционноспособных красителей позволяют редполагать, что при их использовании в гистохимии могут быть преодо-ены трудности, возникающие при применении кислых красителей.

Реакционноспособные красители при слабокислых значениях pH могут еагировать с амино- и иминогруппами белков ([4]). Возможно, что при дру-их условиях в реакцию с ними будут вступать и другие реакционноспособ-ые группы белков. Указанием на эту возможность служит то, что процио-овые красители используются для крашения не только шерстяных, но и еллюлозных тканей.

В отличие от кислых и основных красителей, реакционноспособные кра-ители присоединяются посредством ковалентной, а не солеобразной связи). Образуется исключительно прочное соединение: краситель — окраши-аемое вещество, так что краситель не может быть извлечен без разрушения крашенного вещества.

При использовании этой группы красителей в гистохимии связавшийся раситель не будет извлекаться при проводке препарата, что позволит по-учить более тщательное обезвоживание последнего. В то же время после краски можно легко отмыть ту часть красителя, которая химически не

прореагировала с белком, а просто адсорбировалась им. По совету М. А. Чекалина, было произведено несколько опытов по окрашиванию препаратов в тех условиях, которые рекомендуются для крашения шерсти ([5]).

Был использован краситель процион ярко-голубой RS фирмы ICI. Окраска проводилась в 0,1% растворе красителя при pH 5,6 (фосфатный буфер 0,1 *M*) при температуре 50° в течение 30—40 мин. Более длительная окраска не увеличивает количества связавшегося красителя. Работа проводилась на кончиках корней кукурузы и лука, фиксированных разными фиксаторами. Получились четкие препараты (рис. 1). В отличие от препаратов, окрашенных бромфеноловым синим, цвет окрашенных структур не зависит от интенсивности окраски и, кроме того, гораздо приятнее для глаза.

В клетке всегда наиболее интенсивно окрашивается ядрышко. Соотношение окраски ядра и цитоплазмы в разных клетках и при разных методах фиксации различно. Хромосомы окрашиваются интенсивнее цитоплазмы, крахмальные зерна и оболочки клеток остаются неокрашенными. Распределение интенсивности окраски на срезе при этом сходно с распределением, получаемым при применении кислых красителей (прочного зеленого, бромфенолового синего, нафтолового желтого). Это относится как к соотношению окраски различных структур в одной клетке, так и к соотношению окраски структур различных клеток. При переходе клетки к стадии растяжения окрашиваемость протоплазмы падала.

При сравнении клеток, фиксированных различными способами (спирт, фиксатор Карнуа, спирт — уксусная кислота 6 : 1, 10% формалин, фиксаторы Бродского ([1]) и Бирх-Гиршфельда), оказалось, что интенсивность окраски цитоплазмы была тем большей, чем более степень сжатия клетки. Наиболее интенсивно протоплазма окрашивается у клеток корешков, фиксированных спиртом, менее — у фиксированных по Карнуа и затем у фиксированных смесью спирт — уксусная кислота, по Бродскому, по Бирх-Гиршфельду, и 10% нейтральным формалином (фиксаторы перечислены в порядке убывания интенсивности окраски протоплазмы клеток, фиксированных ими). Необходимы дальнейшие цитофотометрические измерения, чтобы убедиться, что более слабая окраска протоплазмы при использовании фиксаторов, содержащих формалин, объясняется лишь меньшим сжатием протоплазмы, а не блокированием части реакционноспособных групп формалином.

Краситель не извлекается из окрашенного среза дистиллированной водой, этиловым и метиловым спиртами, смесью метилового спирта и 10% раствора соды в равных объемах, 1 *N* H_2SO_4, 0,1 *N* NaOH при обработке в течение нескольких суток. Перед погружением в эти жидкости препараты после окраски тщательно промывались дистиллированной водой, чтобы отмыть несвязанный краситель. Удаление РНК и ДНК посредством кислотного гидролиза (5% трихлоруксусная кислота при 90° в течение 15 мин.) не меняло интенсивности окрашивания. Следует отметить, что при окраске бромфеноловым синим и прочным зеленым после удаления нуклеиновых кислот, по наблюдениям автора на том же материале, происходит значительное возрастание интенсивности окрашивания и, кроме того, меняется соотношение интенсивностей окраски различных структур по сравнению с контрольными препаратами.

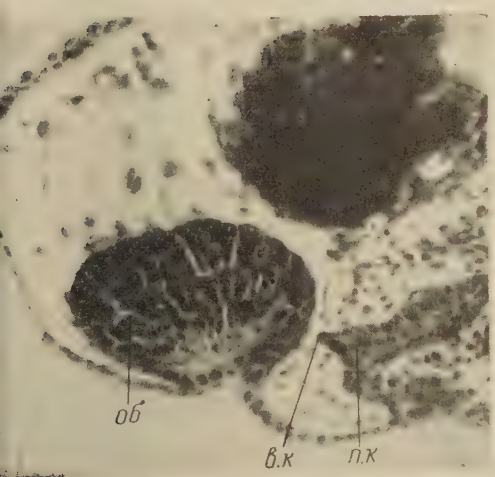
Дезаминирование по методу, описанному в ([2]), приводит к значительному уменьшению окрашиваемости. Следовательно, большая часть красителя реагирует именно с аминогруппами. Остающаяся способность связывать краситель может быть объяснена или неполнотой дезаминирования или тем, что некоторая часть красителя связывается не с аминогруппами.

Основные преимущества проционовых красителей в гистохимическом изучении белка определяются необратимостью реакции связывания красителя белками. Этим объясняется неизвлекаемость красителя из среза при обработке препарата после крашения. Вероятно, этим можно объяснить и независимость окрашиваемости белков от присутствия нуклеиновых кислот.

К статье В. Б. Иванова, стр. 419

Рис. 1. Срез кончика корня кукурузы на расстоянии около 0,5 мм от инициальных клеток. Фиксация по Бродскому. Толщина среза 5 μ. Окраска — процион ярко-голубой RS. Объектив 40 ×, ок. 10 ×, фотографическое увеличение при печати 3 ×. Стрелками отмечены неокрашенные клеточные стенки. *р. с.*— развивающийся сосуд. *рф* — флоэма, *пц* — перицикл, *эд* — эндодерма. Разные клетки находятся в различных стадиях митотического цикла

К статье И. М. Медведевой, стр. 468



ис. 2. Сагиттальный срез головы личинки T. eniatus длиной 8 мм. *в. к* — вырост передней ишки, *об* — обонятельный мешок, *п.к* — передняя кишка

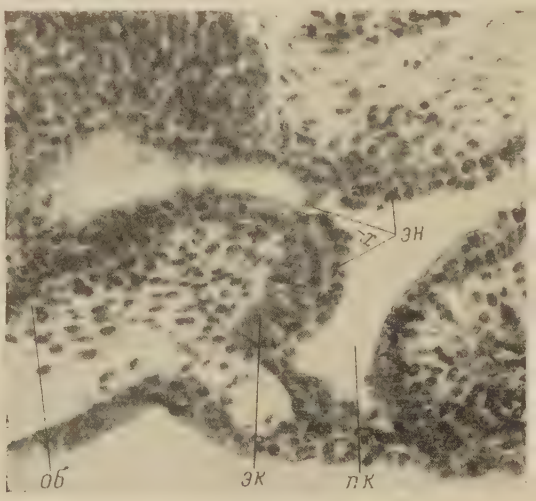


Рис. 3. Сагиттальный срез головы личинки R. sibiricus длиной 18—19 мм. *об* — обонятельный мешок, *п.к* — передняя кишка, *х* — хоана, *эк* — эктодерма, *эн* — энтодерма

Необходимы дальнейшие детальные исследования реакции связывания роционовых красителей белками для их использования в гистохимическом сследовании белка.

В заключение выражаю благодарность Л. С. Эфросу, обратившему наше нимание на эти красители, и М. А. Чекалину и Л. Д. Вирнику за ценные оветы и методические указания. Автор благодарен акад. И. В. Обреимову а постоянный интерес и помощь в работе.

Оптическая лаборатория
Института элементоорганических соединений
Академии наук СССР

Поступило
30 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Б. Я. Бродский. Опыт количественного цитохимического исследования НК нервных клетках. Канд. диссертация, Инст. морф. животн. М., 1956. [2] Х. Свифт, борн. Нуклеиновые кислоты, ИЛ, 1956. [3] M. Alfert, G. Geschwind, Proc. at. Acad. Sci. USA, **39**, 991 (1953). [4] R. Casty, SVF Fachorgan, **13**, № 10 (1958). ICI № 535. Technical Information, 1951.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГИСТОЛОГИЯ

А. А. МИЛОХИН

О НОВОЙ ОСОБОЙ ФОРМЕ ИНТЕРОЦЕПТОРОВ ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОГО ТРАКТА

(Представлено академиком Н. Н. Аничковым 22 IV 1960)

В пищеварительном тракте различных птиц (куриные, водоплавающие, воробьиные), именно в мышечной оболочке их пищевода и железистого же лудка, мы обнаружили настоль ко своеобразно устроенные ин тероцепторы, что их невозможно отнести ни к одной из известных ранее рецепторных форм. Эта но вая форма интероцепторов по лучила в нашей лаборатории название рецепторов с кольце выми нервными аппаратами. Характерной чертой их строения является образование по ходу основного волокна рецептора или его ветвей настоящих, замкнутых кольцевых нервных структур (рис. 1—4).

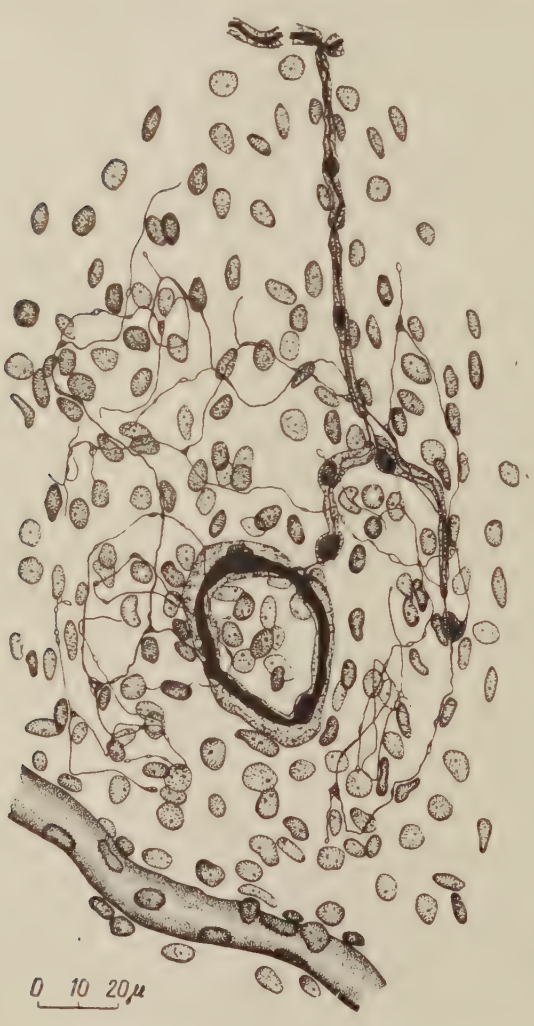


Рис. 1. Рецептор с кольцевым нервным аппаратом. Рецептор лежит в промежуточной соединительной ткани между мышечными слоями стенки пищевода домашней курицы. Метод Бильшовского — Грос. Микроскоп Цейсс; об. апохр. HI 90/1, 30, ок. K 10 ×

В качестве примера, объясняющего строение интероцепторов с кольцевыми нервными структурами, мы подробно опишем рецептор, представленный на рис. 1. Этот рецептор, так же как и изображенные на рис. 2—4, взят из мышечной оболочки пищевода домашней курицы, где подобные рецепторы нам удалось выявить методом Бильшовского — Грос с особой четкостью и в большом количестве.

Как видно на рис. 1, образующее рецептор мякотное нервное волокно ответвляется в месте перехвата Ранвье от миэлинового проводника крупного калибра. Пройдя небольшой путь, всего в два перехвата мякотной оболочки, волокно это делится на две основные ветви, также покрытые миэли-

ном. Одна из ветвей (на рис. 1 справа) почти сразу же после деления теряет миэлин и начинает сама бурно ветвиться, с каждым делением становясь все тоньше, пока не переходит в многочисленные нежные концевые нити. В местах дихотомического деления можно видеть приблизительно треугольной формы расширения с нежной фибриллярной сеточкой. Последняя особенно хорошо заметна в месте первого деления описываемой ветви рецептора (рис. 1).

Претерминальные и терминальные ветви рецептора имеют извитой, рекуррентный ход и перекрывают друг друга. Вследствие этого разветвления рецептора занимают относительно небольшую площадь. По ходу терминальных веточек, а также на их концах образуются небольшие расширения, в которых при удачной импрегнации солями серебра удается рассмотреть нежную сеточку нейрофибрилл.

Рис. 2. Пищевод домашней курицы. Мышечная оболочка. Кольцевой аппарат расположен по ходу главного нервного волокна рецептора. Метод Бильшовского — Грос. Микроскоп Цейсс; об. апохр. HI 90/1, 30, ок. K 10×

Оканчиваются терминальные волокна вблизи крупных светлых ядер так называемых «специальных» клеток рецептора. Эти клетки заполняют все рецептивное поле, образуя как бы своего рода подошву рецептора, в пределах которой только и распространяются его ветви. Рецептор нигде непосредственно не соприкасается с иннервируемым субстратом (мышечная ткань, кровеносные сосуды): между его концевыми разветвлениями и субстратом всюду лежат промежуточные элементы — «специальные» клетки.

Следует заметить, что строение рецепторного кустика, образованного разветвлением описанной основной ветви рецептора (на рис. 1 справа) принципиально не отличается от организации обычных мышечных рецепторов в пищеводе курицы.

Иначе устроена вторая основная ветвь рецептора (на рис. 1 слева). Ее относительно тонкое миэлиновое нервное волокно после первого перехвата Ранвье резко утолщается и образует замкнутый кольцевой нервный проводник, одетый толстой мякотной оболочкой. И уже от него в месте перехвата Ранвье отходит на периферию тонкое безмякотное нервное волокно. Разветвляясь, оно образует характерный рецепторный кустик, который и по характеру ветвления и по отношению к иннервируемому субстрату совершенно сходен с концевым кустиком, образованным правой ветвью описываемого рецептора.

Различие в строении двух основных ветвей рецептора (рис. 1) состоит, таким образом, только в том, что по ходу одной из них как бы вставлен особый нервный аппарат в виде толстого кольцевидно замкнутого нервного проводника. Концевые же разветвления обеих ветвей рецептора построены идентично.

Кольцевой нервный аппарат может располагаться на различных расстояниях от концевых структур рецептора: по ходу главного афферентного волокна (рис. 2) и его крупных, основных ветвей (рис. 1) и непосредственно у самых терминалей (рис. 3 и 4).

Расположенный по ходу главного афферентного волокна или его крупных ветвей кольцевой аппарат всегда одет толстой миэлиновой оболочкой, и от него на периферию отходит только одно нервное волокно. Оно может быть безмякотным (рис. 1) или мякотным (рис. 2).

Рис. 3. Пищевод домашней курицы. Мышечная оболочка. Кольцевой аппарат расположен по ходу тонкой безмякотной ветви рецептора. От кольцевого нервного проводника непосредственно начинаются претерминальные и терминальные веточки. Метод Бильшовского — Грос. Микроскоп Цейсс; об. апохр. HI 90/1, 30, ок. K 10×

Если же кольцевой аппарат расположен в области концевых разветвлений рецептора (рис. 3 и 4), он образован безмякотным, но всегда довольно толстым нервным проводником, от которого непосредственно начинаются претерминальные и терминальные веточки. Их обычно несколько, и отходят они от конусообразных выпячиваний протоплазмы кольцевого проводника. Для строения кольцевого аппарата, расположенного вблизи терминальных ветвлений рецептора, очень характерны также тонкие нервные перемычки, соединяющие различные его участки (рис. 3 и 4).

Итак, кольцевой аппарат описываемых интероцепторов можно представить, отвлекаясь от частных деталей его строения, как кольцевидно замкнутый проводник крупного калибра, который может располагаться на всем протяжении от терминальных веточек рецептора до его главного афферентного волокна.

Физиологическое значение кольцевого нервного аппарата интероцепторов еще совершенно не ясно, и мы позволим себе лишь высказать некоторые соображения о его возможной функции.

Кольцевой аппарат, по-видимому, непосредственно не участвует в восприятии энергии раздражителя. На это указывают, по нашему мнению, два обстоятельства: во-первых, кольцевой аппарат может располагаться далеко от воспринимающих раздражение терминальных веточек рецептора, и, во-вторых, кольцевой нервный проводник может покрываться миэлиновой оболочкой, которая, по современным представлениям, играет роль изолятора.

Мы считаем возможным предположить, что кольцевой нервный аппарат каким-то образом изменяет импульсы, проходящие через него к центру.

Эти изменения могут выражаться, возможно, в усилении или ослаблении или даже в полном торможении периферических импульсов.

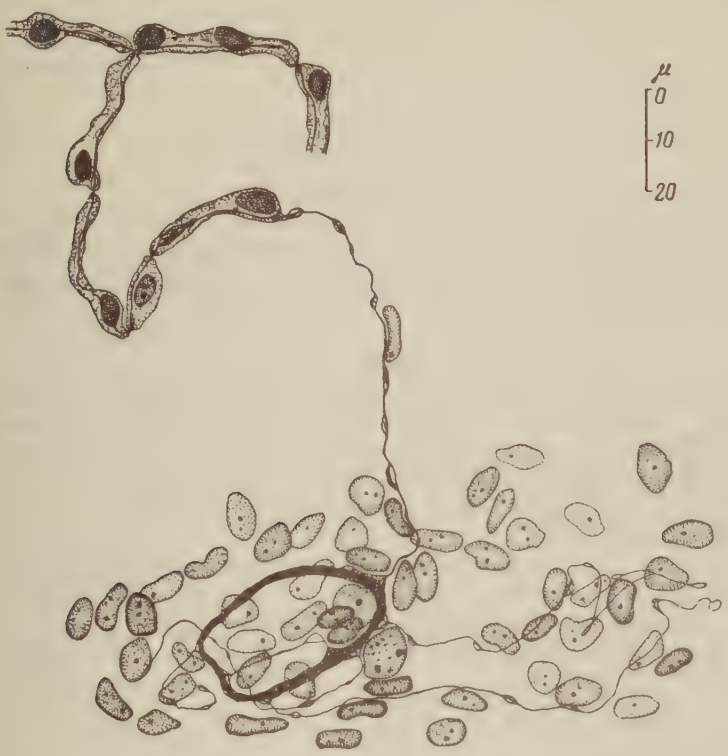


Рис. 4. Пищевод домашней курицы. Мышечная оболочка. Кольцевой аппарат лежит в области концевых разветвлений рецептора. От кольцевого проводника отходят лишь терминальные веточки. Хорошо видна тонкая нервная перемычка, соединяющая два различных участка кольцевого проводника. Метод Бильшовского — Грос. Микроскоп Цейсс; об. апохр. HI 90/1, 30, ок. K 10×

Мы с большой осторожностью высказываем эти предположения и надеемся, что их можно будет в дальнейшем экспериментально проверить, отводя с помощью микроэлектронов токи действия от различных участков живого рецептора с кольцевым нервным аппаратом.

Институт физиологии им. И. П. Павлова
Академии наук СССР

Поступило
19 IV 1960

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕНЕТИКА

Н. Н. ЗОЗ

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЫРЕЙНО-ПШЕНИЧНЫХ ГИБРИДОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ХИМИЧЕСКИХ МУТАГЕНОВ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 22 X 1960)

В настоящей работе приводится сообщение о впервые проведенных исследованиях по получению наследственных изменений у растений под действием 1,4-бисдиазоацетилбутана и фторангидрида изопропилового эфира метилфосфиновой кислоты (ИМФФ). Мутагенное действие этих соединений впервые установлено И. А. Рапопортом ([1]) и И. А. Рапопортом и Р. Г. Костяновским ([2]) на дрозофиле в 1959 году.

Объектом исследования были пырейно-пшеничные гибриды: ППГ №№ 1, 24, 82 и 22850. По количеству изменений, полученных в M_2, 1,4-бисдиазоацетилбутан, взятый в концентрации 0,2%, в 3 раза и ИМФФ в 1,7 раза превзошли сильнейший из известных мутагенов — этиленимин (см. табл. 1).

Таблица 1

Химические агенты	Изменения в процентах				
	ППГ № 24	ППГ № 1	ППГ № 82	ППГ № 22850	Контроль
1,4-бисдиазоацетилбутан 0,2%	95,2	54,8			0,0
1,4-бисдиазоацетилбутан 0,1%	40,4	22,5	30,0		0,0
1,4-бисдиазоацетилбутан 0,05%	36,9				0,0
Этиленимин 0,06%		18,0	34,4	7,0	0,0
Этиленимин 0,4%	32,0		25,0		0,0
ИМФФ 0,001%				12,0	0,0
Число исследованных семей	354	240	162	1800	500 каждого номера

Особый интерес представляет 1,4-бисдиазоацетилбутан, который показал не только значительную эффективность, но и проявил высокую специфичность. При его воздействии в большом количестве получены изменения, не возникавшие от других мутагенов: красное зерно на белозерном ППГ № 24 (15%) и красная окраска колоса у белоколосого ППГ № 1 (22%). Получение краснозерной формы из белозерной представляет большую хозяйственную ценность, поскольку красное зерно имеет длительный период покоя после созревания и не прорастает на колосе в сырую погоду во время уборки урожая. Большое практическое значение имеют также неполегающие эректоидные формы с прочной соломой и плотным колосом, в большом количестве возникшие от воздействия всех трех мутагенов. Среди других изменений хозяйственный интерес могут представлять формы кустистые, раннеспелые, крупноколосные и другие.

Таким образом с помощью химических мутагенов становится возможным получение новых форм растений и улучшение только одного-двух признаков сорта, что открывает большие возможности для практической селекции.

Институт биофизики
Академии наук СССР

Поступило
22 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. А. Рапопорт, ДАН, **130**, № 5, 1134 (1960). [2] И. А. Рапопорт, Р. Г. Костяновский, ДАН, **131**, № 1, 191 (1960).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ГЕНЕТИКА

М. А. МАХАЛИН

РАСПОЗНАВАНИЕ ПОЛИПЛОИДНЫХ РАСТЕНИЙ У ЗЛАКОВ ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ

(Представлено академиком Н. В. Цициным 21 X 1960)

В настоящее время в селекции растений большое место занимает метод полиплоидии. Дальнейшее успешное применение этого метода в значительной мере будет зависеть от разработки более эффективных приемов и методов получения и быстрого распознавания полиплоидных форм.

В данной работе мы остановимся на вопросе распознавания полиплоидных растений. Для распознавания полиплоидных растений исследователи используют ряд приемов и методов. Полиплоидные растения, как известно можно распознавать по внешним морфологическим частям растения (лист, стебель, цветок и т. д.), по величине клеток (пыльца, устьичные клетки) или по числу хромосом (цитологический метод). Наиболее точным и широко используемым методом определения полиплоидных растений является цитологический метод. Следует, однако, отметить, что каждый из этих приемов наряду с положительными моментами имеет также и некоторые недостатки, которые иногда ограничивают возможность их широкого использования.

К числу таких недостатков можно отнести, например, довольно высокую трудоемкость цитологического метода и недостаточную надежность определения при использовании морфологического метода.

Между тем быстрое и своевременное определение полиплоидных растений и отделение их от диплоидных в работах, например, с рожью имеет существенное значение.

Наиболее важно своевременно выявить и сгруппировать полиплоидные растения в год обработки, когда получаются единичные полиплоидные растения, а чаще единичные побеги. Важность своевременного выявления и группирования полиплоидных растений определяется тем, что необходимо создать наилучшие условия для переопыления полиплоидных растений или побегов, в противном случае, находясь далеко друг от друга, полиплоидные растения могут не завязать семян.

Нами была поставлена задача попытаться найти способ более быстрого, простого и в то же время надежного определения полиплоидных растений ржи на более ранних этапах работы с полиплоидами. С этой целью в 1958—1960 гг. под руководством акад. Н. В. Цицина мы провели изучение наиболее важных свойств и признаков трех озимых полиплоидных форм ржи в сравнении с исходными диплоидными сортами и формами. Для изучения были взяты следующие полиплоидные формы озимой ржи: Вятка московская, ветвистая рожь и дикая многолетняя рожь.

В результате изучения морфологических признаков трех полиплоидных форм ржи нами было установлено очень интересное явление. Как показали наши наблюдения, у всех полиплоидных форм ржи язычок (ligula) был значительно лучше развит, чем у диплоидных форм.

У диплоидных форм ржи язычок, как правило, полупрозрачный и небольшой длины. У растений полиплоидных форм ржи он толще, имеет бе-

лую окраску и, самое главное, значительно длиннее язычка диплоидных растений.

Так, например, если у диплоидных растений ржи длина язычка равнялась ~1 мм и редко достигала 1,5 мм, то у полиплоидных растений величина язычка равнялась 2,5—3 мм (рис. 1 *а* — *в*), а у отдельных полиплоидных растений Вятки московской и ветвистой ржи его длина достигала 4 мм.

Поскольку у всех трех полиплоидных форм ржи язычок был развит значительно лучше, чем у диплоидов, это дало нам возможность предположить, что, очевидно, у злаков усиление признака величины лигулы связано с яв-

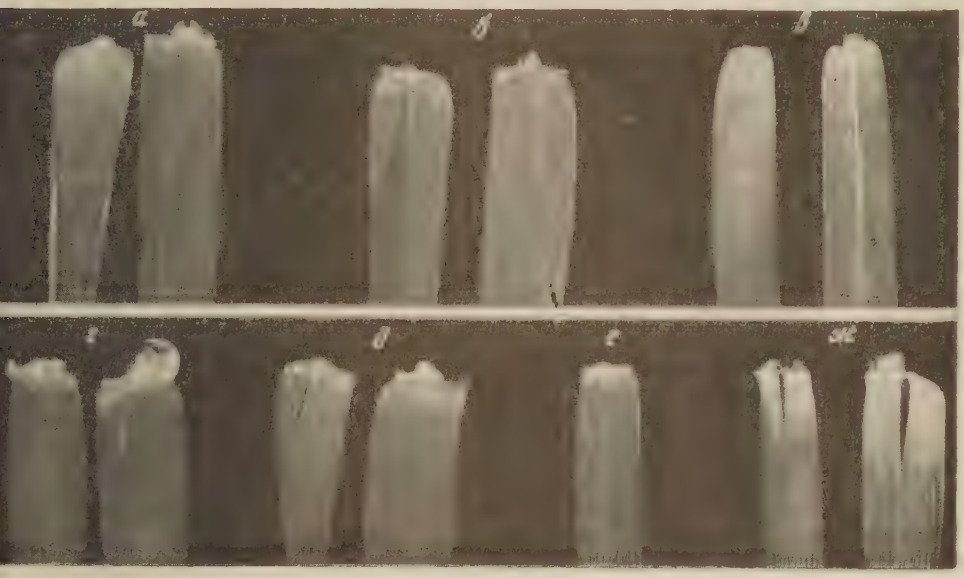


Рис. 1. Листья с язычками (лигулами): *а* — ветвистой ржи; *б* — Вятки московской; *в* — дикорастущей многолетней ржи (слева — лист диплоидной формы, справа — лист полиплоидной формы); *г* — ячменя Гибридный Немчиновский; *д* — ячменя Северный из Финляндии (слева — лист диплоидной формы, справа — лист полиплоидной формы); *е* — элимуса гигантского ($2n = 28$); *ж* — элимуса гигантского полиплоидного ($2n = 56$) (слева — естественный полиплоид, справа — экспериментально полученная форма)

лением полиплоидии. Если это так, то, очевидно, и другие полиплоидные формы злаков должны иметь более развитую лигулу. В этой связи нами дополнительно было проведено изучение полиплоидных форм у некоторых других злаков. При изучении величины лигулы у полученных нами полиплоидных форм ячменя в сравнении с исходными диплоидными формами мы наблюдали такое же явление, как и у ржи.

Полиплоидные формы ячменя имели значительно лучшее развитие лигулы, чем диплоиды. Так, например, у полиплоидных форм двурядного ячменя Гибридный Немчиновский (голозерный) и Северный из Финляндии (пленчатый) длина язычка была равна 3—4 мм, в то время как у исходных диплоидных сортов длина язычка не превышала 1,5 мм (рис. 1 *г*, *д*).

На питомнике дикорастущих растений Лаборатории отдаленной гибридизации имеются две расы элимуса гигантского (Elymus giganteus Vhal) с числами хромосом $2n = 28$ и $2n = 56$.

Можно было предполагать, что растения 56-хромосомной расы элимуса гигантского являются полиплоидной формой и возникли в природе в результате удвоения числа хромосом у растений расы $2n = 28$.

Наблюдения показали, что у растений элимуса 56-хромосомной расы величина лигулы значительно сильнее выражена, чем у растений расы $2n = 28$ (рис. 1 *е*, *ж*). Следовательно, у дикорастущего злака элимуса полиплоидия, очевидно, также ведет к усилению признака величины лигулы.

Это предположение нашло убедительное подтверждение в экспериментальных работах, проведенных К. А. Петровой.

В результате обработки колхицином клонов растений элимуса гигантского и элимуса мягкого (E. mollis Trin.) $2n = 28$, К. А. Петровой получены полиплоидные формы с $2n = 56$. Полиплоидные побеги элимуса имели значительно лучшее развитие лигулы и легко отличались по этому признаку от диплоидных побегов (рис. 1 *е*, *ж*). Цитологический анализ, проведенный К. А. Петровой, показал, что побеги с более развитой лигулой имели 56 хромосом, т. е. были полиплоидными.

Из приведенных выше примеров можно видеть, что у ряда растений злаковых наблюдается общая закономерность усиления признака величины лигулы у полиплоидных форм.

Тот факт, что полиплоидия ведет к усилению признака величины лигулы, дает возможность использовать это явление для распознавания и отбора полиплоидных растений у злаков. Определение полиплоидности растения по длине лигулы (язычка) возможно уже в фазу выхода в трубку.

Это обстоятельство особенно важно на ранних этапах работы, так как дает возможность проводить задолго до цветения отбор полиплоидных растений, а также отметку полиплоидных и удаление диплоидных побегов на растении.

Кроме того, ранний отбор полиплоидных растений или побегов дает возможность создать своевременный соответствующий уход за выделенными полиплоидными растениями.

Определение полиплоидных растений по длине язычка (лигулы) является существенным дополнением к методу определения полиплоидных растений по морфологическим признакам.

Все это дает возможность в год обработки весьма быстро определять полиплоидность очень большого количества побегов и растений. Использование подмеченного нами явления значительно облегчит работу исследователей по созданию и селекции полиплоидных форм злаковых растений.

Главный ботанический сад
Академии наук СССР

Поступило
19 X 1960

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ЭКОЛОГИЯ

Л. Л. ЧИСЛЕНКО

О СУЩЕСТВОВАНИИ «РАЗМЕРНОГО РАЗРЫВА» В МОРСКОЙ ФАУНЕ ЛИТОРАЛИ И СУБЛИТОРАЛИ

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 15 X 1960)

Хотя существует ряд терминов, определяющих размерные отношения бентосных организмов (микро-, мейо- и макробентос), в литературе до сих пор не имеется указаний на существование объективных границ между размерными группами донных животных. Как показывает приводимый ниже самый общий предварительный анализ, для размеров тела открыто живущих морских донных животных литорали и сублиторали существует граница, приходящаяся приблизительно на 2 мм и выражающаяся в резком различии состава фауны по обе стороны от нее. Мы предлагаем считать ее границей между мейо- и макробентосом, а именно: животных мельче 2 мм относить к мейофауне, а животных, равных 2 мм или более,— к макрофауне. Под открыто живущими в данном случае понимаются свободноживущие не прячущиеся (в расщелины, трубки, пустые раковины, густые сплетения ризоидов и т. п.) животные, обитающие на поверхности грунта.

По размерам тела относительно этой границы все отряды (классы), имеющие представителей в морском бентосе, можно разбить на три группы. Многие отряды, которые здесь не перечисляются, не имеют представителей мельче 2 мм. Они должны быть отнесены к макробентосу. Также сразу могут быть отнесены к мейобентосу Macrostomida (?), Gastrotricha, Kinorhyncha Tardigrada и Halacarida, которые никогда не бывают крупнее 2 мм ([4,7, 13,14]).

Для нас имеют интерес таксономические группы, содержащие виды как крупнее, так и мельче 2 мм. Слабая изученность и отсутствие монографий по ряду групп, зачастую отсутствие сведений по биологии и размерам отдельных видов делают подбор материала чрезвычайно трудоемким, и поэтому мы часто ограничивались использованием общих сведений из руководств по зоологии. Для удобства изложения мы заранее относим отдельные группы преимущественно к мейо- или макробентосу. Приводимые ниже цифры представляют собой только те количества морских свободноживущих донных видов, относительно которых мы располагаем необходимыми данными по биологии и размерам тела на основании отдельных работ, на которые дается ссылка после названия группы.

Группы, относящиеся преимущественно к мейобентосу. Из 29 видов морских Infusoria ([11]) лишь один крупнее 2 мм, из нескольких десятков видов Rhabdocoela ([11,13,16,21]) — два. Никаких сведений по биологии этих трех форм мы не имеем. Из 99 видов Ostracoda ([20]) шесть превышают 2 мм. Для двух из этих шести видов указана «умеренная глубина», три были найдены только глубже 100 м, один — глубже 40 м. Мы не нашли указаний ([5,14,20]) на существование донных Copepoda Cyclopoida крупнее 2 мм. Из почти полутора тысяч видов Copepoda Harpacticoida ([1, 7,15]) только шесть превышают по длине тела 2 мм: эктопаразит Balaenophilus unisetus P. O. Aurivillius (2,4 мм), комменсал Sunaristes paguri Hesse (3,0 мм), пелагический Parathalestris croni (Kröyer)(2,3 мм), глубоководные Cervinia magna Smirnov (2,1 мм), Pontostratiotes horrida

V. A. Brotzky (2,0 мм) и Parathalestris jacksoni (T. Scott) (2,2 мм), морской вид, обитающий во временных водоемах и до глубины 40 м. Из 14 видов Tanaidacea ([20]) крупнее 2 мм — пять, из последних четыре не были найдены на глубинах меньше 60 м. Из 563 видов Foraminifera ([12]) 134 бывают крупнее 2 мм, только 25 из последних были найдены на глубине менее 100 м. Следует учесть, что для Foraminifera довольно обычны большие вариации размеров тела и что в описаниях видов не указывается, с какими биотопами связаны эти вариации, а дается лишь максимальный размер тела. Относительно представителей класса Nematoda трудно сказать, обитают ли они на поверхности или в толще грунта. Тем не менее, и отряды класса Nematoda явно обнаруживают преимущественную принадлежность к одной из двух рассматриваемых размерных групп бентоса. Так, по данным Визера ([23]) с чилийского прибрежья, отряды нематод Chromadoroidea Axonolaimoidea и Monhysteroidea состоят, соответственно, на 74, 76 и 85% из видов мельче 2 мм, а 78% видов отряда Enoploidea, наоборот, крупнее 2 мм.

Группы, относящиеся преимущественно к макробентосу. Указаний на существование морских Oligochaeta ([5,11,14]) мельче 2 мм мы не нашли. Amphipoda ([3,14]) и Gastropoda ([11,14]) мельче 2 мм представляют редкие исключения. Isopoda ([2,14]), если исключить фреатобионтов, вероятно, также не бывают мельче 2 мм. Из Polychaeta ([5,8,14]) мельче 2 мм бывают некоторые Sabellidae и Serpulidae (строящие трубки), а также некоторые Hesionidae (по-видимому, прячущиеся) и Syllidae. В целом количество этих исключений по отношению к общему числу видов Polychaeta очень невелико. Зарывающиеся в ил Cumacea ([4,11,14]) и Brachiopoda ([13,14]) имеют по небольшому количеству видов, переходящих размерную границу. Минимальная длина тела Pantopoda ([11,14]) 0,8 мм. Однако, если считать за размер тела расстояние между концами вытянутых ножек, то даже мельчайшее из этих своеобразных животных окажется крупнее 2 мм.

Исключениями, по-видимому, являются три группы: Archiannelides ([15,19]), Alloeocoela ([10,11,13,22]) и Acoela ([5,9,11,13,14]), представители которых более равномерно распределяются по обе стороны от границы. Однако внутри этих групп также имеется подобная дифференциация. Так, Archiannelides Protodrilidae и Poligordiidae крупнее 2 мм, а Nerillidae и Dinophilidae — мельче. То же самое, но в менее резкой форме, у Alloeocoela: Plagiostomidae и Monocelididae, как правило, крупнее 2 мм, Pseudostomidae и Allostomatidae, как правило, мельче. Otoplanidae в равной мере представлены по обе стороны от границы, но живут в песке, и поэтому для них, как и для Nematoda, очень трудно сказать, где — в грунте или на нем — они обитают. Acoela представлены главным образом мелкими формами, однако род Convoluta включает в себя виды с размерами тела от 0,6 до 9,0 мм. Следует ожидать, что после подбора данных по биологии и размерам для отдельных видов размерные отношения в этих группах станут более ясными.

Необходимо подчеркнуть, что из почти трех тысяч видов (десяти из рассматриваемых здесь групп, переходящих границу в 2 мм), по которым мы располагаем сведениями о размерах, оказалось всего два вида, представляющих более или менее достоверное исключение. Это Parathalestris jacksoni (T. Scott) из Copepoda Harpacticoida и Tanais tomentosus Kröyer из Tanaidacea. Интересно также, что одиночные сидячие Coelenterata (за исключением немногих фреатобионтов) и колонии Coelenterata, Bryozoa и Kamptozoa не бывают, по-видимому, мельче 2 мм, хотя размеры отдельных зооидов у них, как правило, меньше 2 мм.

Таким образом, существование фаунистического разрыва представляется нам несомненным. По всей вероятности, разрыв имеет место и по отношению к количеству видов, так как, по-видимому, на размеры около 2 мм приходится снижение числа видов: представители групп макрофауны, как правило, в среднем значительно крупнее 2 мм, и лишь относительно очень немногие подходят вплотную к двухмиллиметровой границе, которая является

нижним пределом этого разрыва. Верхний предел, приходящийся, вероятно, на размер в несколько миллиметров, выражен менее резко. На снижение количества видов в области проводимой нами размерной границы указывают данные Ремане по изучению размеров тела бентосных животных Кильской бухты. На рис. 1 (по Ремане [19], с изменениями) представлены результаты измерения им населения фитали. Налицо заметное снижение количества видов в размерном классе 2,1—4,0 мм. Такого снижения не дало

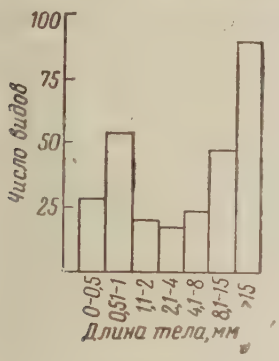


Рис. 1

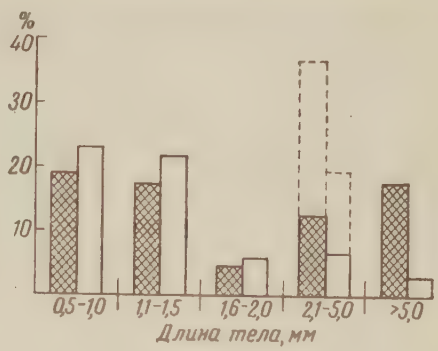


Рис. 2

население песка и ила, на наш взгляд, потому, что большая часть видов, вероятно, должна быть отнесена к инфауне.

Возможно, что разрыв имеет место и по отношению к числу особей. Визер первый показал это на основании измерения нескольких тысяч нематод (см. рис. 2). На рис. 2 (по Визеру [23], с изменениями) представлено процентное распределение количества экземпляров Nematoda, собранных на различных водорослях, по размерным классам. Минимум количества экземпляров приходится на размерный класс 1,6—2,0 мм, т. е. не совпадает с границей, проводимой нами. Это происходит, вероятно, потому, что измерялись подряд все встреченные особи, в том числе и не достигшие максимальных размеров неполовозрелые. Визер, к сожалению, объединяет несколько размерных классов в один: 2,1—5,0 мм. Если пользоваться логарифмической шкалой, этот объединенный класс следует разбить приблизительно на три. На диаграмме представлено в процентном выражении количество особей, приходящееся в среднем на каждый из этих трех размерных классов. Как видно из диаграммы, для закрытых участков (белые столбики) уменьшение количества особей выражено слабо, для открытых (черные столбики) — гораздо более резко.

Ранг таксономических групп (главным образом, семейства, отряды и классы, преимущественно отряды) указывает на большую древность возникновения разрыва; относительно малое количество исключений — на то, что вызвавшие его факторы продолжают действовать в настоящее время. Разрыв касается только непрячущихся форм и разделяет животных только по максимальным размерам, независимо от формы тела.

Таким образом, определенный (от двух до нескольких миллиметров) размер тела оказывается для животных неблагоприятным. Объяснение этого явления надо искать, по-видимому, в следующем направлении. Нам кажется, не будет большой погрешностью принять, что в микро- и мейобентосе почти нет хищников. Во всяком случае, имеющиеся скудные данные, сведенные Мэр [17], говорят в пользу этого положения. Далее, на наш взгляд бесспорно (особенно для примитивных отношений), что между размерами тела хищников и их жертв существует в какой-то мере определенное отношение: хищники, как правило, в несколько раз крупнее своих жертв. Хотя мы не располагаем никакими данными по этому вопросу, можно себе представить, что животные определенного размера имеют больше шансов

стать добычей хищников. Таким образом, мы предполагаем, что одна из возможных причин существования «размерного разрыва» — определенные размерные соотношения хищников и их жертв.

Зоологический институт
Академии наук СССР

Поступило
7 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. А. Броцкая, Зоол. журн., **38**, в. 12 (1959). [2] Е. Ф. Гурьянова, Морские арктические равноногие раки (Isopoda), (1932). [3] Е. Ф. Гурьянова, Бокоплавы морей СССР, 1951. [4] Н. Б. Ломакина, Кумовые раки (Cumacea) морей СССР, 1958. [5] Руководство по зоологии, **1—3**, 1937—1951. [6] С. С. Смирнов, Тр. дрейф. экп. Главсевморпути на ледокольном пароходе «Г. Седов», **3**, 1940. [7] И. И. Соколов, Водяные клещи, ч. 2, Halacarae, 1952. [8] П. В. Ушаков, Многощетинковые черви дальневосточных морей СССР, 1955. [9] H. An der Lan, Vid. medd. Dansk naturhistor. foren, **99**, 289 (1936). [10] P. Ax, Akad. d. Wiss. u. Literatur. Abh. d. Math.—Naturviss. Klasse, № 13 (1955). [11] Bronns Klassen und Ordnungen des Thierreichs, **1—5** (1880—1959). [12] J. A. Cushman, Smiths. inst. U. S. Nat. mus. Bull. 104 (1918—1930). [13] L. H. Hyman, The invertebrates, 1—5 (1941—1959). [14] W. Kükenthal, Handbuch der Zoologie, **1—5** (1923—1940). [15] K. Lang, Monographie der Harpacticiden, 1948. [16] A. Luther, Acta zool. fennica, **87**, 12 (1955). [17] M. F. Mare, J. Marine Biol. Assoc., **25**, 517 (1942). [18] A. Remane, Die Tierwelt Nord- u. Ostsee, Tl. 6a, 1 (1932). [19] A. Remane, Wiss. Meeresunters. Abt. Kiel, H. 2 (1933). [20] G. O. Sars, An account of the crustacea of Norway, **2—6** (1896—1918). [21] E. Westblad, Further Zool. Results Swedish Ant. Exp. 1901—1903, **4**, № 8 (1952). [22] E. Westblad, Ark. Zool., 7, № 6 (1955). [23] W. Wieser, Lunds univ. arsskr. Avd. 2, **55**, № 2 (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

МИКРОБИОЛОГИЯ

Н. Б. ЗАВАРЗИНА

ЛИТИЧЕСКИЙ АГЕНТ В КУЛЬТУРАХ CHLORELLA PYRENOIDOSA PRINGH.

(Представлено академиком В. Н. Шапошниковым 13 X 1960)

Как было показано ранее, лизис лабораторных культур Chlorella pyrenoidosa происходит в результате действия специфического агента ([1]).

Электронномикроскопические исследования заставили предположить, что причиной лизиса являются сферические тельца, обнаруженные в массовом количестве в лизированных культурах. Однако поскольку лизис был получен в культуре хлореллы, содержащей бактериальные организмы, существование специфического литического агента не было доказано.

Поэтому задачей дальнейшей работы являлось получение 1) чистой культуры хлореллы и 2) свободного от бактерий препарата литического агента. Соединение этих двух культур должно было воспроизвести картину лизиса. Исследования проводились с тем же штаммом Chlorella pyrenoidosa Pringh., что и в предыдущей нашей работе.

Применение тщательного микроскопического контроля показало, что лабораторные культуры хлореллы, как правило, загрязнены различными формами микроорганизмов. Применение разнообразных питательных сред не давало убеждения в чистоте культуры — отчасти потому, что рост хлореллы маскировал рост бактерий. Иногда бактериальные колонии располагались и на поверхности колоний хлореллы. Обычный микроскопический контроль также оказался недостаточным, так как некоторые виды бактерий прикрепляются к оболочкам водорослей и плохо прокрашиваются красками. Наиболее удобным методом контроля оказалась аноптральная микроскопия живых культур хлореллы. Прикрепление бактерий к водорослям делало почти безнадежной попытку получить чистую культуру отсевом колоний на плотной среде. Облучение ультрафиолетом и применение антибиотиков также не дало нужных результатов. Чистая культура хлореллы была получена методом рассева капель ([2]).

Для получения свободных от бактерий препаратов литического агента применялось фильтрование лизированной культуры хлореллы через ультрафильтры. Свечи Шамберлана и фильтры Беркефельда не пропускали литический агент, по-видимому вследствие адсорбции. Мембранные фильтры № 1 и № 2 фабрики ультрафильтров в Мытищах оказались непригодными, так как пропускали бактерий. Фильтрование через асбестовые фильтры СФ-3 и СФ-4 давало плохо воспроизводимые результаты. Электронная микроскопия показала, что через фильтр СФ-4 проходит лишь крайне незначительное число сферических частиц, и, по-видимому, этим и объясняется различие в результате опытов. Из 10 опытов в 6 случаях в чистых культурах водорослей, зараженных лизатом хлореллы, фильтрованным через СФ-4 в разведении 2 : 10 и 5 : 10 через 20—50 дней инкубации в ряде клеток обнаруживались резкие цитологические изменения, хотя внешний вид культуры оставался прежним, она только немного желтела. Пораженные клетки вакуолизировались, принимая сильно вздутую форму. В этих полых шарах хроматофоры были отнесены к периферии, однако разрывов оболочки не наблюдалось (рис. 1 *б*). Другой формой поражения была остановка деления на стадии тетрады, когда разделившиеся клетки не расходились (рис. 1 *в*). Во всех этих культурах оставалась часть неповрежденных жизнеспособных клеток.

В контрольных опытах, куда был введен фильтрат из старых незараженных культур хлореллы, подобное поражение клеток не наблюдалось. Это исключало предположение, что цитологические изменения вызваны хлорел-

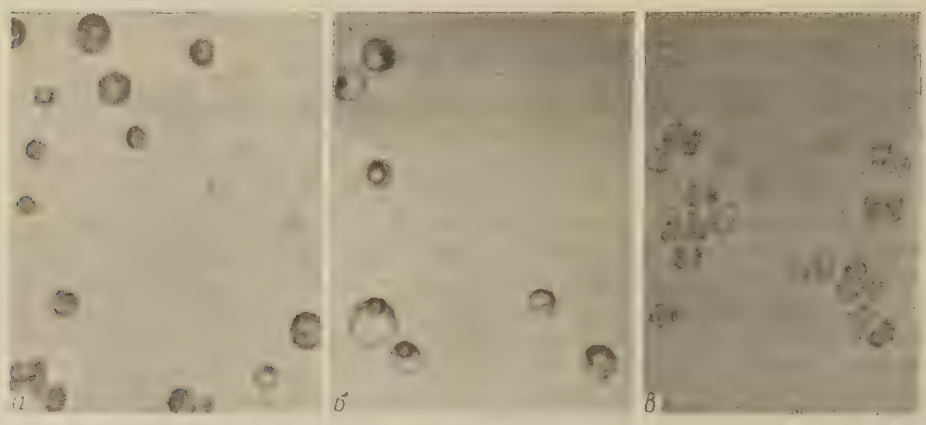


Рис. 1. Культура Chlorella через 45 дней после заражения лизатом, профильтрованным через асбестовый фильтр. СФ-3—4. Опыт поставлен на материале, очищенном от бактерий. 10×40 Zeiss. *а* — контрольная культура, *б* —вздутые клетки Chlorella с оттесненными к оболочке хроматофорами и ядром, *в* — клетки с незаконченным делением

лином ([1]). В ряде опытов клетки, поврежденные таким «безбактериальным лизатом», при посеве в здоровые чистые культуры хлореллы вызывали аналогичные изменения (табл. 1).

Таким образом, «безбактериальный лизат» не вызывал полного разрушения клеток водорослей, но сильно повреждал их. Отрицательные результаты некоторых опытов объясняются недостаточным содержанием литического агента в фильтратах лизата.

Таблица 1

Действие дважды пассированного на хлорелле безбактериального лизата на чистую культуру хлореллы

Разведение безбактериального лизата в культуре	Процент пораженных клеток		
	через 20 суток	через 38 суток	через 48 суток
1 : 10	Есть вакуолизированные клетки	58,5	77,5
1 : 10^2	То же	55	50,1
1 : 10^3	» »	55	36,6
1 : 10^4	Очень мало вакуолизированных клеток	34,4	36,6
1 : 10^5	Нет вакуолизированных клеток	27,6	29,5
1 : 10^6	То же	42,5(?)	22,5
Контроль	» »	0	9

Альголитический агент не теряет активности в пределах pH 4,5—9. На этом основании были сделаны попытки элюировать агент с фильтров подкисленными растворами. Эффект был незначительным. Несколько лучшие результаты были получены при применении 1% раствора сапонина.

Увеличение скорости лизиса и полное разрушение клеток хлореллы лишь в присутствии бактерий выдвинуло предположение, что лизис вызывается действием протеолитических ферментов, освобождающихся из разрушенных клеток водорослей или бактерий. Однако протеолитическая активность здоровой и лизированной культуры хлореллы была одной и той же. Таким образом, это предположение отпало.

Поскольку лизат, фильтрованный через СФ-4, не вызывал полного разрушения клеток хлореллы, стало очевидным, что в лизисе принимают участие также бактерии, приводящие к полному разрушению клеток. В лизатах, среди разнообразных бактерий была обнаружена и выделена * специфическая форма Caulobacter vibrioides Henrici et Johnson ([3]), в присутствии которой проходил

* Идентификация Caulobacter vibrioides выполнена Г. А. Заварзиным.

К статье Н. Б. Заварзиной, стр. 435

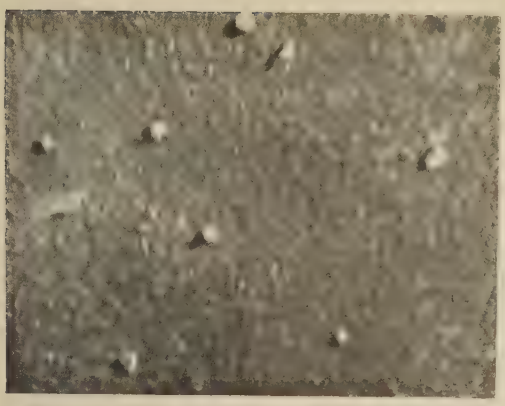


Рис. 2. Caulobacter vibrioides, прикрепленный к лизированным клеткам Chlorella. Лизат профильтрован через мембранный фильтр № 2. Электронография, 3000 ×

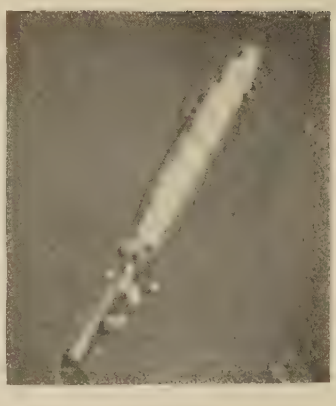


Рис. 3. Caulobacter vibrioides, несущий на себе сферические частицы. Электронография, 6000 ×

Рис. 4. Сферические частицы из лизата, профильтрованного через мембранный фильтр № 2. Электронография, 6000 ×

К статье А. М. Вовк и Г. С. Никифоровой, стр. 462

Рис. 2. Электронная микрофотография сферических частиц вируса некроза огурца. 700 × 4

полный лизис. В момент лизиса C. vibrioides развивается в массовом количестве и продолжает размножаться в лизате и после полной гибели клеток хлореллы. Кроме C. vibrioides, аналогичное значение, по-видимому, может иметь и другая форма Caulobacter, которую нам не удалось выделить в чистую культуру. C.vibrioides обычно встречался в бактериально загрязненных культурах хлореллы. Размножение C. vibrioides в старых культурах хлореллы приводит к образованию хлопьев и оседанию водорослей на дне сосуда. Обычно он прикрепляется к оболочкам старых или поврежденных клеток (рис. 2). Развитие C. vibrioides несколько подавляется добавлением к культуре хлореллы 5 мг/л риванола или облучением ультрафиолетом 14795,0 эрг/см^2. Полное освобождение лизата от C. vibrioides представило большие затруднения, так как он легко проходил через мембранные фильтры № 1 и № 2.

В дальнейшем C. vibrioides был выделен в чистую культуру на минеральной среде Пратта* с добавлением 2% дрожжевой воды. После 3–5 пассажей на этой среде C. vibrioides не вызывал лизиса хлореллы. Таким образом, сам по себе C. vibrioides не является причиной лизиса хлореллы.

Внесение лизата, профильтрованного через СФ-4 в культуру хлореллы, содержащую C. vibrioides, или же добавление к чистой культуре хлореллы отдельно фильтрованного лизата и культуры бактерий в некоторых случаях воспроизводило картину лизиса, описанную нами ранее ([1]). Лизис проходил быстрее, если культура C. vibrioides и профильтрованный через СФ-4 лизат хлореллы предварительно инкубировались вместе в течение 4—5 суток и лишь затем вносились в культуру хлореллы.

Электронномикроскопические исследования обнаружили в лизатах хлореллы частицы, которые не были структурными элементами разрушенных клеток водорослей и никогда не встречались в разрушенных искусственным путем культурах хлореллы ([1]). В фильтрованных через СФ-4 лизатах встречаются сферические частицы, морфология которых сближает их с фагами. Они имеют сферическое тело, слегка вогнутое с одной стороны, где прикрепляется короткий конусообразный отросток (рис. 4). Эти частицы могут прикрепляться к C. vibrioides (рис. 3), не вызывая его лизиса. На этом основании возникло предположение, что причиной лизиса хлореллы является C. vibrioides инфицированный фагом. Однако этому противоречит тот факт, что безбактериальные лизаты вызывают цитологические изменения водорослей.

На основании проведенной работы можно предположить, что C. vibrioides в процессе лизиса хлореллы 1) выполняет роль переносчика литического агента; 2) прикрепляясь к оболочкам водорослей, повреждает их и делает более проницаемыми для частиц литического агента; 3) участвует в окончательном разрушении клеток хлореллы.

Активные лизаты всегда содержат C. vibrioides и сферические частицы фага. В отсутствие C. vibrioides полного разрушения клеток хлореллы не наблюдалось. Неинфицированный фагом C. vibrioides, так же как и другие бактерии, которые нам удалось выделить из лизатов, не вызывает лизиса культур хлореллы.

Таким образом, бактериальное загрязнение само по себе не является первопричиной лизиса культур хлореллы.

В заключение автор выражает глубокую благодарность А. Е. Проценко за помощь при электронной микроскопии и всем своим коллегам, оказавшим содействие при выполнении данной работы.

Институт микробиологии
Академии наук СССР

Поступило
7 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Заварзина, А. Проценко, ДАН, 122, № 5 (1958). [2] О. Комарова, Микробиология, 18, 370 (1949). [3] A. Houwink, Ant. van Leeuvenhoeck, 21, 49 (1954). [4] R. Pratt, Am. J. Bot., 29, № 2 (1942).

* 1000 мл водопроводной воды, KNO_3 0,1 г, K_2HPO_4 0,01 г, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$—0,01 г, $FeCl_3$—0,001 г.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

БИОФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР Н. И. НУЖДИН, М. Д. ПОМЕРАНЦЕВА
и Н. Н. КУЗНЕЦОВА

СРАВНЕНИЕ ОДНОКРАТНОГО И ФРАКЦИОНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ НА СЕМЕННИКИ МЫШИ

Характер суммации повреждений при дробных воздействиях ионизирующей радиации на организм может быть весьма различным. Имеющиеся в литературе данные говорят о том, что наиболее часто при фракционировании дозы происходит ослабление поражений. Это, по-видимому, обусловлено репарационными процессами, протекающими как во время облучения, так и в интервалах между воздействиями. В некоторых случаях дробление дозы не изменяет биологического эффекта облучения или даже усиливает его. Ранее было показано, что при использовании суммарных доз 100 и 400 r степень поражения семенников мыши при однократном и фракционированном рентгеновском облучении одинакова, тогда как селезенка, зобная железа и белая кровь при фракционированном облучении поражались меньше ([1]).

Хорошо известно, что по биологическому действию особенно на семенники, быстрые нейтроны эффективнее рентгеновского облучения ([2]). Кроме того, в литературе имеются противоречивые данные по изменению относительной биологической эффективности (о.б.э.) быстрых нейтронов при переходе от однократных воздействий к хроническим. В то время как одни авторы отмечают, что при хронических воздействиях о.б.э. в отношении поражения семенников возрастает ([2]), по данным других исследователей этого не наблюдается ([3]). В связи с этим представляло интерес провести изучение характера суммации повреждений при фракционированном воздействии быстрых нейтронов на семенники мыши.

Показателями степени поражения семенников служили изменение веса и гистологической картины органа. В работе были использованы самцы белых мышей в возрасте 3 месяцев. Источником быстрых нейтронов был ядерный реактор мощностью 1000 квт. Пучок имел смягченный спектр деления со средней энергией около 1 мэв. Использовались фильтры 150 мм и 5 мм B_4C. Облучения производились в точке, находившейся на расстоянии 240 см от активной зоны. Мощность в указанной точке была 160 rad/час быстрых нейтронов (+ 55r γ-лучей). Поток быстрых нейтронов в этой точке составлял $3{,}4 \cdot 10^5$ нейтр/см^2·сек Суммарная доза облучения 100 rad давалась: а) однократно, б) в четыре сеанса по 25 rad ежедневно. Облучение было тотальным.

Забой животных для взвешивания и гистологического анализа семенников производился на 2, 7, 21, 35, 49 и 70 дни после облучения. Выбранные сроки забоя позволяли проследить динамику поражения семенников и их последующее восстановление. Для гистологического анализа семенники фиксировались жидкостью Ценкера и модификации Максимова. Срезы делались толщиной в 6μ. Окраска срезов производилась кислым гемалауном по Майеру. Просмотр препаратов производился с увеличением в 300 раз.

При анализе гистологической картины семенников использовали методику, предложенную Фоггом и Коуингом ([4]) для учета клеток зародышевого эпителия, находящихся на разных стадиях гаметогенеза. Сущность этой методики заключается в том, что на срединном срезе семенника в 100 канальцах производится учет присутствующих типов зародышевых клеток. Методика Фогга и Коуинга была дополнена трехбалльной системой

оценки наличия тех или иных клеток. Все клетки зародышевого эпителия делили на 5 классов: сперматогонии, пресперматоциты, сперматоциты, сперматиды, спермии. Данные, полученные при изучении влияния фракционирования дозы 100 rad на изменение веса семенников, представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Из этих материалов видно, что как однократное, так и фракционированное воздействие в суммарной дозе 100 rad приводит к значительному снижению веса семенников, которое достигает максимума на 35 день после облучения. Сравнение этих данных с результатами, полученными ранее при использовании рентгеновского облучения ([1],[5]), показывает, что по влиянию на вес семенников мышей быстрые нейтроны примерно в 5—6 раз эффективнее, чем рентгеновские лучи. Это согласуется с данными других исследователей ([3]), указывающих величину о.б.э. быстрых нейтронов по действию на семенники того же порядка, как и полученная нами.

Данные рис. 1 и табл. 1 показывают, что степень снижения веса семенников после однократного и фракционированного воздействия 100 rad одинакова. К 70 дню после облучения вес семенников еще не возвращался полностью к норме, однако по интенсивности восстановления между группами животных, облученных однократно и фракционированно, также не наблюдалось различий.

Для выявления возможной специфики реакции семенников на фракционированное воздействие быстрых нейтронов одновременно было изучено изменение веса селезенки. В этом случае наблюдалась иная картина. При фракционировании дозы облучения вес селезенки снижался в меньшей степени, чем при однократном воздействии. Следовательно, фракционирование приводило к ослаблению повреждающего действия нейтронного облучения (табл. 1). Аналогичная картина наблюдалась ранее ([1]) и при использовании рентгеновских лучей.

Материалы, полученные при гистологическом анализе семенников, приведены на рис. 2. Облучение семенников быстрыми нейтронами приводило к постепенному исчезновению из них зародышевых клеток, которое начиналось с наиболее молодых, т. е. сперматогоний. При дозе 100 rad полного опустошения всех семенных канальцев не происходило, так как в большинстве из них наряду с исчезновением зрелых клеток вновь появлялись более молодые.

Таблица 1

Влияние однократного и фракционированного облучения на вес семенника и селезенки

Орган	Контроль			Доза	Дни после облучения																	
					2			7			21			35			49			70		
	вес		число животных		вес		число животных	вес		число животных	вес		число животных	вес		число животных	вес		число животных	вес		число животных
	мг	% от веса тела			мг	% от веса тела		мг	% от веса тела		мг	% от веса тела		мг	% от веса тела		мг	% от веса тела		мг	% от веса тела	
Семенники	194	0,59	10	100 rad	173	0,68	8	156	0,54	8	78	0,27	8	67	0,21	8	95	0,27	6	125	0,36	7
				25 rad×4	153	0,66	8	151	0,52	6	82	0,27	8	68	0,22	7	89	0,26	6	110	0,36	7
Селезенка	123	0,37	10	100 rad	53	0,21	8	93	0,32	8	144	0,50	7	129	0,41	8	125	0,35	6	167	0,49	7
				25 rad×4	73	0,31	7	117	0,40	6	114	0,38	8	127	0,41	7	138	0,40	6	208	0,68	7

При рассмотрении рис. 1 и 2 видно, что при однократном и фракционированном облучении биологический эффект на семенники практически одинаков. Таким образом, гистологический анализ, так же как и приведенные выше результаты взвешивания семенников, показывает, что степень поражения семенников при однократном и фракционированном воздействии быстрых нейтронов одинакова.

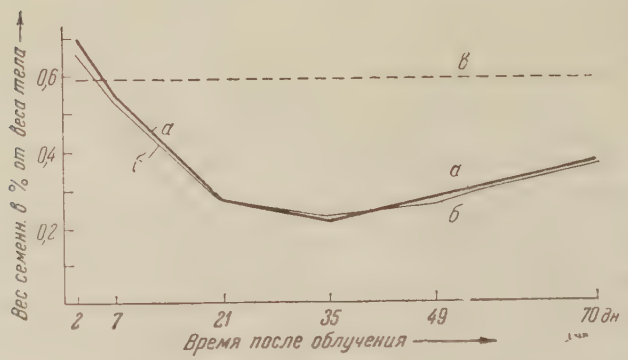


Рис. 1. Влияние однократного и фракционированного облучения на вес семенников. *а* — 100 rad, *б* — 25 rad × 4, *в* — контроль

Полученные материалы подтвердили тот факт, что по действию на семенники нейтроны значительно эффективнее рентгеновского облучения. Однако, несмотря на это отличие, характер суммации повреждений при дроблении дозы воздействия тот же, что и при использовании рентгеновских лучей. Как и при рентгеновском облучении специфика в реакции семенников на фракционированное воздействие быстрых нейтронов состояла в том,

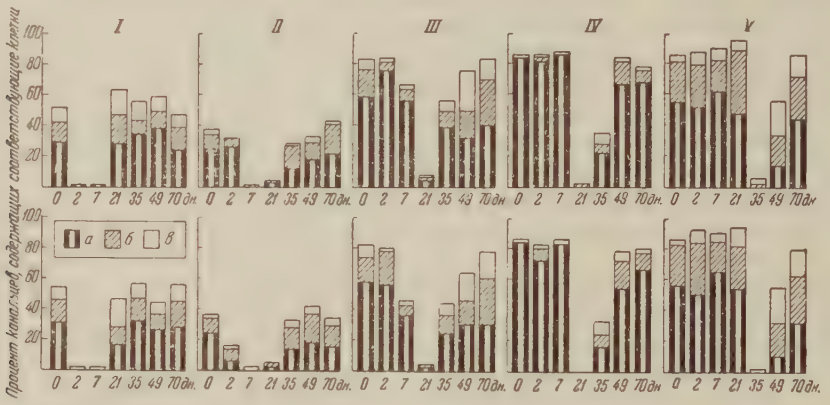


Рис. 2. Изменение клеточного состава семенных канальцев мышей, облученных быстрыми нейтронами однократно (верхний ряд — 100 rad) и фракционированно (нижний ряд — 25 rad × 4). *а* — много клеток, *б* — средне число клеток, *в* — единичные клетки. *I* — сперматогонии, *II* — пресперматоциты, *III* — сперматоциты, *IV* — сперматиды, *V* — сперматозоиды

что при дроблении дозы степень поражения не ослаблялась, а оставалась такой же, как и при однократном облучении.

Выражаем благодарность проф. Б. М. Исаеву, Ю. И. Брегадзе и В. А. Квасову за ценные советы по физической стороне эксперимента и проведение дозиметрии.

Институт генетики
Академии наук СССР

Поступило
10 XII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. И. Нуждин, Н. И. Шапиро и др., Журн. общ. биол., **20**, № 3, 216 (1959). [2] Т. Ивенс, в кн. Радиобиология, ИЛ, стр. 400. [3] G. J. Neary, R. J. Munson, R. H. Mole, Chronic Radiation Hazards, London, Paris, N. Y., Los Angeles, 1957. [4] L. C. Fogg, R. F. Cowing, Cancer. Res., **11**, 23 (1951). [5] Н. И. Нуждин, М. Д. Померанцева, Н. Н. Кузнецова, Изв. АН СССР, сер. биол., № 6 (1960).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

БИОФИЗИКА

Е. А. ПОЖИДАЕВ

ЗНАЧЕНИЕ ГОРМОНОВ ЯИЧНИКА В ПАТОГЕНЕЗЕ ЛУЧЕВЫХ ЭМБРИОПАТИЙ У КРЫС ПОСЛЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖЕНСКИХ ГАМЕТ

(Представлено академиком Н. Н. Аничковым 12 X 1960)

Правильное решение вопроса о патогенезе лучевых эмбриопатий у млекопитающих невозможно без решения кардинального вопроса об относительном значении прямого и непрямого действия ионизирующей радиации на эмбриогенез. Этот вопрос неоднократно обсуждался, но пока еще далек от решения, причем во взглядах исследователей существуют большие расхождения. Некоторые авторы совершенно отрицают значение любых воздействий со стороны материнского организма ([1,2]), другие хотя и признают возможность таковых воздействий, но не придают им сколько-нибудь серьезного значения ([3-6]). Однако опытами П. Г. Светлова и Г. Ф. Корсаковой ([7-9]) показано, что действие патогенных агентов (гипертермия, наркотики) на зародыши различных стадий развития в значительной степени реализуется через материнский организм (неполноценная имплантация, дефекты в развитии плаценты). Однотипный тератогенный или летальный эффект у зародышей могут вызывать самые различные агенты: гипотермия ([10,11]), гипоксия ([12-16]), авитаминозы ([17]), инфекционные заболевания ([18]) и т. д. Вместе с тем Светловым и Корсаковой показано, что при рентгеновском облучении беременных животных периоды повышенной чувствительности зародышей к повреждающему действию лучистой энергии совпадают во времени с таковыми в отношении других повреждающих агентов ([19,20]). Отнюдь не отрицая «сквозного» действия рентгеновских лучей и элективного поражения зачатков различных органов в момент прохождения ими критических периодов ([21,22]), эти авторы полагают, что в патогенезе таких явлений, как отеки, стазы, гематомы, а возможно и некоторых локальных аномалий развития имеет значение и непрямое воздействие радиации — состояние зародышевых оболочек, плацентарная недостаточность или иные влияния со стороны материнского организма, пораженного лучевой болезнью (состояние матки, состав крови, нервные и эндокринные влияния и т. д.). Рядом авторов описаны значительные повреждения в плаценте облученных животных ([23,24]) и показано влияние болезненного состояния матери на развитие плода ([8, 24-27]).

Что же касается действия рентгеновских лучей на женские гаметы млекопитающих, то этому вопросу посвящены единичные исследования; так, по Л. и В. Рассел ([3,28]), высокая антенатальная смертность после облучения самок мышей до беременности обусловлена исключительно возникновением летальных мутаций и является показателем хромосомных аберраций. Однако этот вопрос оказался гораздо сложнее. В наших прежних опытах показано, что при облучении крыс до беременности: а) тотально, б) только яичников и в) тотально с экранизацией яичников — до имплантации гибнет примерно одинаковое число зародышей (50—55% от числа овуляций). Если яичники были облучены, то постимплантационная смертность достигала 40—45%, однако она была довольно высока и в опытах с экранизацией

яичников (20%). Это свидетельствует о том, что в нарушении процесса имплантации и постимплантационной смертности имеет значение не только биологическая неполноценность яиц, но и общее состояние матери. Опыты с односторонним воздействием позволили углубить анализ факторов непрямого действия рентгеновских лучей на гаметы. При облучении только одного яичника в экранированной самке и в опытах с экранизацией одного яичника в облученной самке ([29]) на стороне облученного яичника антенатальная смертность такая же, как и в опытах с тотальным облучением самок или облучением яичников в экранированной самке, а на стороне экранированного яичника — как в опытах с двусторонней экранизацией яичников. Тот факт, что поражение одного яичника сказывается неблагоприятно на выживаемости зародышей контралатеральной стороны тела, свидетельствует о том, что в патогенезе эмбриопатий имеет немаловажное значение нарушение гормональной деятельности яичников. Это предположение и послужило поводом для проведения работы по выяснению значения гормонов яичника в патогенезе лучевых повреждений эмбриогенеза после рентгеновского облучения женских гамет при трансплантации яичников.

Работа проведена на белых крысах весом 150—180 г. Облучение проводилось на аппарате РУМ-3М. Условия облучения: напряжение 180 кв, сила тока 15 ма, фильтр Al 0,5 мм + Cu 1,0 мм. Фокусное расстояние 40 см, поле 20 × 20 см. Мощность дозы 35 г/мин. Время облучения 17 мин. Общая доза ~600 г.

Были проведены следующие серии опытов: I. Тотальное облучение самок до беременности. II. Тотальное облучение самок и трансплантация двух здоровых яичников непосредственно после облучения. III. Тотальное облучение самок и трансплантация двух здоровых яичников в день осеменения. IV. Тотальное облучение самок и трансплантация двух здоровых яичников непосредственно после облучения с последующим извлечением трансплантата в день осеменения. Серии I и II были проведены зимой 1959—1960 г. (табл. 1). Серии III и IV, имевшие целью анализ полученных данных, проведены весной и летом на другой партии животных; одновременно была повторена I серия опытов, как контроль на новом материале (табл. 1). Опыты

Таблица 1

Значение гормонов яичника в патогенезе нарушений эмбриогенеза у крыс

Серия опытов	Число беременных крыс	Число желтых тел	Число имплантир. зародышей		Число живых зародышей		Число мертвых зародышей	
			абс.	%	абс.	%	абс.	%
I. Тотальное облучение самок до беременности	45	758	244	32,2±1,7	127	52,1±3,2	117	47,9±3,2
II. Тотальное облучение самок, трансплантация здоровых яичников после облучения	39	568	151	28,3±1,9	94	62,3±3,8	57	37,7±3,8
Контроль	13	140	100	71,4±3,8	93	93,0±2,5	7	7,0±2,5
I. Тотальное облучение самок до беременности	25	481	222	46,1±2,3	112	50,5±3,3	110	49,5±3,3
II. Тотальное облучение самок до беременности, трансплантации здоровых яичников в день осеменения	38	596	260	43,6±2,0	136	52,3±3,1	124	47,7±3,1
IV. Тотальное облучение самок, пересадка яичников после облучения и удаление трансплантата в день осеменения	30	450	214	47,6±2,3	130	60,8±3,3	84	39,2±3,3
Контроль	13	145	116	80,0±3,3	110	94,9±2,0	6	5,1±2,0

III и IV серий должны были решить вопрос, оказывают ли гормоны яичника положительное действие на проэмбриональный период развития (т. е. на

ооциты и оогонии яичника) или на эмбриональный период развития зародышей после оплодотворения. Срок от облучения до осеменения колебался в наших опытах от 1 до 10 дней. О наступлении беременности судили по наличию сперматозоидов во влагалищных мазках. Учет результатов опытов (подсчет желтых тел, погибших зародышей и живых плодов) производился на 17 день беременности. Процент имплантировавшихся зародышей вычислялся от числа желтых тел; число зародышей, погибших после имплантации, устанавливалось без труда, поскольку к 17 дню развития в этих случаях всегда можно было обнаружить их следы.

Операция трансплантации яичников проводилась под эфирным наркозом: у подопытной крысы-реципиента делался разрез в поясничной области на границе прикрепления апоневроза брюшных мышц к поясничной фасции длинных мышц спины, открывавший доступ к околопочечной жировой клетчатке; в нее и пересаживались яичники, взятые от здоровой самки (яичники освобождались от капсулы и яйцеводов и пересаживались целиком). В опытах серии IV, где трансплантат через некоторое время удалялся, пересаживаемые яичники прошивались шелковой ниткой, которая облегчала отыскание и полное удаление трансплантата.

По окончании опыта трансплантированные яичники подвергались макро- и микроскопическому исследованию обычными гистологическими методами (фиксация жидкостью Буэна, окраска гематоксилином Гейденгайна, по Ясвоину, по Маллори). Пересаженные яичники имели обычные либо уменьшенные размеры, часто с признаками кистозного перерождения; в редких случаях трансплантат был с крупную фасоль, плотной консистенции. На препаратах такие яичники представляли собой сильно разросшуюся ткань стромы. Бо́льшая часть яичников на свежем разрезе представляла хорошо васкуляризованные желтоватые образования, соответствовавшие бывшим желтым телам; обычно много межуточной ткани, лютеиновых клеток и фолликулярных элементов. Многие яичники имели совершенно нормальное строение, с многочисленными развивающимися фолликулами и хорошими желтыми телами. Процент приживляемости трансплантата в наших опытах (сохранение тех или иных структур яичника) был довольно высок — свыше 90%. Животные с некротизированными трансплантатами в опытах не учитывались.

Как видно из табл. 1, каких-либо заметных различий в проценте имплантации в опытах с тотальным облучением самок без трансплантации яичников и с трансплантацией — не обнаружено (32,2 и 28,3% соответственно). Столь низкий процент имплантации объясняется не вполне доброкачественной партией животных (в контроле процент имплантации оказался равным 71,4%). Но довольно существенные различия оказались в постимплантационной смертности: в опытах с облучением и без трансплантации яичников остались живыми 52,1% плодов, а в опытах с трансплантацией 62,3%, т. е. на 10,2±5,1% больше. Можно полагать, что разность между смертностью в контроле и опыте не случайна (при $t = 2{,}0$; $P = 0{,}954$).

Как было сказано выше, мы провели опыты с трансплантацией яичников в день осеменения и опыты с пересадкой яичников непосредственно после облучения с последующим удалением трансплантата в день осеменения (серия IV). Из табл. 1 видно, что пересадка облученным крысам здоровых яичников в день осеменения не оказало какого-нибудь заметного эффекта на имплантацию и на выживаемость зародышей по сравнению с опытами без трансплантации яичников. Но если яичники были пересажены облученным самкам за некоторое время до наступления беременности и изъяты в день осеменения (серия IV), то по сравнению с опытами, в которых яичники вообще не пересаживались, число живых плодов возросло на 10,3% (при ошибке разности ±4,7); процент же имплантации в обеих сериях опытов примерно одинаковый (46,1 и 47,6%). Достоверность повышения процента выживаемости и здесь довольно высока ($t = 2{,}1$; $P = 0{,}964$).

Таким образом, пересадка здоровых яичников облученным животным

в какой-то мере снижает тяжесть радиационных нарушений эмбриогенеза только в том случае, если трансплантация была осуществлена до беременности, причем этот положительный эффект не снимается и после удаления трансплантата на самых ранних стадиях эмбрионального развития. Полученное в этих опытах снижение антенатальной смертности имеет в общем небольшие размеры, что вполне понятно, поскольку затронут лишь один из компонентов влияния на гаметы со стороны материнского организма. Тем не менее установленный нами факт зависимости тяжести лучевых поражений женских гамет от гормональной деятельности яичников имеет, как нам представляется, принципиальный интерес. Следует подчеркнуть, что нормализация эмбриогенеза идет при этом не за счет улучшения процесса имплантации, а за счет снижения постимплантационной смертности. Как нами было показано ([29]), и экранизация яичников в облученной самке не предотвращает нарушения процесса имплантации. Тот факт, что пересадка яичников в день осеменения не улучшает имплантации и не снижает постимплантационной смертности, указывает на то, что судьба зародышей после облучения во многом определяется гормонанальным фоном в период роста и созревания ооцитов.

Из изложенных экспериментальных данных следует, что в патогенезе нарушений нормального эмбриогенеза после облучения крыс на различных стадиях оогенеза имеет значение как прямое действие ионизирующей радиации на половые клетки, так и непрямое действие через материнский организм путем изменения общего соматического состояния и нарушения гормональной деятельности яичников. У млекопитающих благодаря исторически сложившейся тесной взаимосвязи зародыша и матери, протекающей на фоне сложнейших нейро-гуморальных корреляций, начиная с самых ранних стадий оогенеза (проэмбриональный период), в патогенезе радиационных эмбриопатий удельный вес непрямого компонента очень значителен.

Институт экспериментальный медицины
Академии медицинских наук СССР

Поступило
27 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] I. G. Wilson, I. W. Kazz, Am. J. Anat., 88, № 1, 1 (1951) [2] А. А. Нейфах, ДАН, **116**, № 6, 952 (1957). [3] L. B. Russell, W. L. Russell, Cold Spring Harbor Sympos., **19**, 50 (1954). [4] S. P. Heiks, R. O'Brien, A. Williams, J. Cell. and Comp. Physiol., **43**, Suppl. 1, 151 (1954). [5] S. P. Hicks, Am. J. Roentg., **69**, 272 (1953). [6] Э. Я. Граевский, Н. И. Шапиро, Современные вопросы радиобиологии, Изд. АН СССР, М., 1957. [7] П. Г. Светлов, Г. Ф. Корсакова, Сборн. Рефлекторные реакции во взаимоотношении материнского организма и плода, Л., 1954. [8] П. Г. Светлов, Г. Ф. Корсакова, Бюлл. эксп. биол. и мед, № 1., 78 (1957). [9] П. Г. Светлов, Сборн. Пробл. совр. эмбриол., Ленингр. унив., 1956. [10] Н. А. Гринольская, Сборн. Патофизиология внутриутробного развития, Л., 1959. [11] Н. А. Трипольская, Арх. анат. гист. и эмбриол., **38**, № 1, 20 (1960). [12] H. Rübsaamen, Beitr. pathol. Anat. u. allgem. Pathol., **112**, 3, 336 (1952). [13] H. Rübsaamen, Naturwiss., **42**, 11, 319 (1954). [14] В. И. Бодяжина, Акуш. и гинекол., № 3 (1953). [15] T. Böchner, Dtsch. med. Wschr., **81**, № 34, 1341 (1956). [16] T. H. Ingalis, T. R. Avis, F. I. Carley, J. Heredity, **44**, 185 (1953). [17] I. Warkony, J. Cell. and Comp. Physiol., **43**, Suppl. 1, 207 (1954). [18] А. С. Покровская, ДАН, 70, № 5 (1950). [19] П. Г. Светлов, Ежегодник Инст. эксп. мед., Л., 1958. [20] П. Г. Светлов, Г. Ф. Корсакова, Сборн. Влияние ионизирующего излучения на течение беременности, состояние плода и новорожденного, Л., 1960. [21] L. B. Russell, J. exp. Zool., **114**, 545 (1950). [22] L. B. Russell, Radiation biol., **1**, 2 (1954). [23] М. Н. Кузнецова, Акушерство и гинекология, **4**, 50 (1957). [24] Е. А. Вальштрем, Арх. анат., гист. и эмбриол., 38, № 3, 72 (1960). [25] З. Ф. Исаченко, ДАН, **110**, № 2 (1956). [26] Н. А. Калинина, Мед. радиол., № 3, 82 (1956). [27] Н. А. Самошкина, ДАН, **120**, № 6, 1249 (1958). [28] L. B. Russell, W. L. Russell, Progress in Radiobiology, London, 1956, p. 187. [29] Е. А. Пожидаев, ДАН, **131**, № 3, 670 (1960).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

БИОХИМИЯ

Г. П. СЕРЕНКОВ и Э. ПРОЙСЕР

О ВЗАИМОСВЯЗИ НЕКОТОРЫХ АМИНОВ С СИНТЕЗОМ КОФЕИНА В ЛИСТЬЯХ ЧАЯ

(Представлено академиком А. И. Опариным 15 X 1960)

После того, как было установлено ([1]), что в листьях чая содержится большая группа аминов, возник вопрос о существовании взаимосвязи между обнаруженными аминами и кофеином, который, как известно, содержится в данном объекте в довольно большом количестве. Для проверки вышеуказанного предположения было проведено настоящее исследование, осуществленное с использованием метода вакуумной инфильтрации.

Как было показано ранее ([2]), при инфильтрации в листья чая лимоннокислого аммония в них несколько увеличивалось содержание кофеина. Тогда было сделано предположение, что азот лимоннокислого аммония в какой-то мере используется в синтезе кофеина.

Зеленые листья чая собирали на Выставке достижений народного хозяйства в Москве в сентябре 1959 г. и в июне 1960 г. Листья делили вдоль по средней жилке на две части, одна из которых шла в опыт, а другая служила контролем. «Опытную» часть листа помещали в раствор испытуемого вещества, а контрольную — в дистиллированную воду. Опытную и контрольную пробы одновременно помещали в вакуум-эксикатор, где и проводилась инфильтрация. После инфильтрации листья извлекали из опытного раствора, промывали дистиллированной водой, подсушивали фильтровальной бумагой и помещали во влажную камеру на 6-часовую экспозицию. Точно так же обрабатывали и контрольные листья. Через 6 час. опытные и контрольные листья фиксировали и сушили.

Опытные растворы готовили следующим образом: 1—2 г хлоргидрата амина или такое же количество другого вещества растворяли в 100 мл дистиллированной воды, при необходимости устанавливали pH ~ 6.

В сухих измельченных опытных и контрольных образцах материала определяли содержание кофеина по несколько измененному методу, предложенному Грунтовой ([3]). При этом соблюдали следующий ход определения. Навеску материала (0,5 г) экстрагировали 20 мл слабого раствора NaOH (pH 9—10) в течение 10 мин. на кипящей водяной бане. Проводили четыре таких экстрагирования.

К объединенным экстрактам добавляли 20 мл 0,1 *N* H_2SO_4 для нейтрализации и затем подкисления экстракта. В подкисленный таким путем опытный раствор вносили 3 мл 0,1 *N* раствора $AgNO_3$ для осаждения теофилина. Раствор нагревали до кипения (кипячение продолжалось 2 мин.) и фильтровали через пористое стекло. Осадок на фильтре промывали водой несколько раз. Фильтрат и промывные воды объединяли и экстрагировали хлороформом до пяти раз. Для каждого экстрагирования брали 20 мл хлороформа. Экстракты объединяли, хлороформ отгоняли на водяной бане, а остаток растворяли в 10 мл 10% H_2SO_4 при нагревании на водяной бане. К полученному раствору добавляли 2 мл раствора фосфорновольфрамовой кислоты для осаждения кофеина. Такой раствор снова кипятили 20 мин. Осадок фосфорновольфрамата кофеина отфильтровывали на фильтре из

пористого стекла, промывали три раза 10% H_2SO_4 (по 5 мл) и затем растворяли в 5 мл 0,5 *N* NaOH прямо на фильтре. Полученный раствор пропускали через тот же фильтр, последний промывали 80 мл воды и фильтрат переносили в мерную колбу на 100 мл и доводили водой до объема. Из полученного объема брали таксе количество раствора, в котором содержалось бы приблизительно 20—250 γ кофеина. Этот раствор помещали в колбу на 100 мл и к нему добавляли 35 мл воды, 10 мл аммония молибдата и 5 мл раствора хлорного олова. Через 4 мин. проводили измерение плотности окраски на фотоэлектроколориметре с красным светофильтром против раствора, не содержащего кофеина. Количество кофеина рассчитывалось по заранее составленной кривой для чистого препарата кофеина. Результаты определения содержания кофеина (в процентах на сухой вес) в опытных и контрольных образцах приведены в табл. 1. Эти данные представляют собой средние не менее чем из трех параллельных определений.

Таблица 1

№ опыта	Вариант	Содерж. кофеина в 1 г материала	Содерж. кофеина, %	Прирост кофеина, %
1	Инфильтрация 1% метиламина	15,60	124,0	24,0
	Контроль	12,60	100	—
2	Инфильтрация 1% триметиламина	14,50	100	
	Контроль	14,60	100	—
3	Инфильтрация 1% диметиламина	12,60	100	
	Контроль	12,60	100	
4	Инфильтрация 1% этиламина	15,25	118,5	18,5
	Контроль	13,10	100	
5	Инфильтрация 1% диэтиламина	13,10	100	—
	Контроль	13,10	100	
6	Инфильтрация 1% триэтиламина	14,9	101,0	1
	Контроль	14,7	100	
7	Инфильтрация 1% *н*-бутиламина	16,80	113,5	13,5
	Контроль	14,80	100	
8	Инфильтрация 1% этилендиамина	14,60	100	
	Контроль	14,60	100	—
9	Инфильтрация 2% этаноламина	22,00	100	
	Контроль	22,00	100	
10	Инфильтрация 2% мочевины	22,80	104,0	4
	Контроль	22,0	100	—
11	Инфильтрация 1% аспарагина	22,0	100	
	Контроль	22,10	100	—
12	Инфильтрация 2% глицина	22,30	100	
	Контроль	22,20	100	

Как видно из табл. 1, при инфильтрации в листьях чая нейтрального раствора первичных алифатических аминов (метиламин, этиламин, *н*-бутиламин) наблюдалось—после 6-часовой экспозиции во влажной камере и при комнатной температуре — заметное увеличение содержания кофеина. При этом наибольший прирост кофеина (24%) обнаружен там, где было инфильтрировано относительно большое количество азота (метиламин), а наименьший (13,5%) там, где было инфильтрировано меньшее количество азота (*н*-бутиламин).

При инфильтрации в листья чая вторичных аминов (диметиламин, диэтиламин) и третичных аминов (триметиламин, триэтиламин) никакого прироста кофеина не обнаружено. Таким образом, только первичные алифатические амины, инфильтрированные в листья чая, способны дезаминироваться соответствующей дезаминазой, а высвободившийся при этом азот используется для синтеза новых молекул кофеина соответствующей ферментативной системой. При инфильтрировании в листья чая этаноламина (NH_2 — CH_2CH_2 — OH), этилендиамина (NH_2 — CH_2 — CH_2NH_2) и глицина (NH_2— CH_2 — COOH) после соответствующей экспозиции прирост кофеина не наблюдался. Из данного факта можно сделать предположение, что аминодезаминаза листьев чая действует только на такие первичные амины, в молекуле которых нет замещенных атомов водорода на иные радикалы или группы. В данном отношении изучаемая аминодезаминаза листьев чая существенным образом отличается от хорошо изученных аминооксидаз животных организмов, которые осуществляют окислительное дезаминирование как первичных, так и вторичных аминов жирного и жирноароматического ряда. Аминодезаминаза листьев чая не действует на аспарагин (опыт № 11), но,

по-видимому, оказывает некоторые действия на мочевину. При инфильтрации в чайные листья мочевины наблюдается незначительное увеличение содержания кофеина (опыт № 10). Возможно, что механизм включения мочевины в синтезируемый кофеин иной, чем азота аминов. Было предположено, что в случае инфильтрации первичных аминов (опыты №№ 1, 4, 7) не происходит синтеза кофеина, а первичные амины ингибируют фермент или ферменты, осуществляющие распад кофеина при 6-часовой экспозиции листьев после инфильтрации. Возможность этого вытекала из того, что некоторые амины оказывают ингибирующее действие на ферменты, и в частности на рибонуклеазу ([4]). Чтобы проверить высказанное предположение, были поставлены опыты, при которых в контрольных листьях кофеин определялся и до экспозиции, и после нее. Оказалось, что содержание кофеина остается тем же, что и до экспозиции. Таким образом, в действительности наблюдается синтез кофеина с использованием азота первичных аминов.

Поступило
14 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. П. Серенков, Э. Пройсер, Вестн. Московск. унив., № 1 (1960). [2] Г. П. Серенков, Вестн. Московск. унив., № 2 (1950). [3] Zora Gruntova, Farmacia, Bratislava, **24**, (1955). [4] W. Zillig, W. Krone, Hoppe — Seyler's Zs. physiol. Chem., **317** (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. А. ГАВРИЛЮК

ФОРМИРОВАНИЕ ЦВЕТКА У НЕКОТОРЫХ РАСТЕНИЙ ЮГО-ВОСТОКА ЧУКОТКИ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 4 XI 1960)

Несмотря на возросший интерес к изучению флоры и растительности Крайнего Севера и детальную разработку отдельных вопросов эколого-биологического направления, до настоящего времени остается неизвестным процесс внутрипочечного формирования органов возобновления, время их заложения и период, потребный для полной дифференциации. Вместе с тем изучение этого вопроса имеет не только частное, но и общебиологическое значение, позволяя глубже понять природу приспособления организмов к крайним условиям среды.

Еще первые исследователи растительного мира Крайнего Севера ([2,8]) обратили внимание на заблаговременное формирование генеративных органов большинства видов, чем и объясняли быстрое развитие их в сжатые сроки последующей вегетации. В дальнейшем это неоднократно отмечалось как специфический признак растений Севера ([1,5,6]). Исследование Серенсена ([9]) довольно подробно выясняет степень сформированности цветка к периоду покоя у видов северо-восточной Гренландии. Серебряков ([3,4]) устанавливает, что по мере продвижения в высокие широты число видов с заранее заложившимися цветками и соцветиями возрастает, достигая 100% в арктических тундрах.

Материал для настоящего исследования был собран в течение двух вегетационных периодов (1957 и 1958 гг.) в юго-восточной части Чукотского полуострова. Преобладающим типом растительности здесь является горная кустарничковая тундра ([7]). Вегетационный период в наиболее оптимальных условиях (неглубокий снежный покров 40 — 50 см, южная экспозиция, хороший дренаж) достигает 100 — 120 дней. На всем его протяжении возможны ночные заморозки. Но в солнечные дни июля температура на почве иногда достигает 30 — 40°.

Сбор материала производился в двух сообществах. Одно из них, кассиопово-голубично-дриадовое, произрастало на южном склоне горы до 45°. Другое, рододендроново-охролехиевое, на северном склоне. Высота над уровнем моря была одна и та же — около 100 м. Параллельно фонологическим наблюдениям на этих участках собирался гербарий и образцы, фиксировавшиеся в спирте. Первые из них брались из-под снега (апрель), последующие через 5 дней до начала периода плодоношения, затем через 10 дней до полного замерзания почвы. Лабораторная обработка проводилась путем просмотра образцов в хронологическом порядке под бинокуляром и микроскопом. Приготавливались срезы.

Среди исследованных 25 видов по времени начала дифференциации цветка * хорошо выделяются три группы: 1) заложение зачатка цветка происходит спустя 15 — 30 дней после цветения (Arctous alpina (L.) Nied., Empetrum hermaphroditum Hag.); 2) заложение зачатка происходит в период цве-

* Таковым мы считали время, когда у основания бугорка конуса роста появляются бугорки будущей чашечки.

тения (Cassiope tetragona (L.) D. Don., Dryas punctata Juz. и др.); у растений обеих групп к концу вегетации завершается полное формирование частей цветка; 3) зачаток цветка закладывается после разворачивания 2 — 4 листьев. Полного развития цветок достигает к концу второго года почечного формирования (Sieversia glacialis R. Br., Acomastylis rossii (R. Br.) Greene и др.). Ниже мы рассматриваем последовательность формирования цветка у растений из выделенных нами групп.

1. Empetrum hermaphroditum — распространенный в данном районе шпалерный вечнозеленый кустарничек с широкой амплитудой приспособления. Цветение ранневесеннее (начало его на постоянном участке фенонаблюдений 3 VI). Начало дифференциации цветка 10 VII. Уже через 5 дней наметились чашелистики и лепестки, а также бугорки будущих тычинок (размеры зачатка: длина 0,35 мм; ширина 0,3 мм). К 20 VII хорошо дифференцированы части околоцветника. Обосабливаются тычинки. Завязь в состоянии формирования (размеры зачатка: длина и ширина 0,8 мм). К середине августа завершается формирование всех частей цветка. В пыльниках происходит микроспорогенез, в завязи образуются семяпочки. Процесс формирования завершается за 41 день.

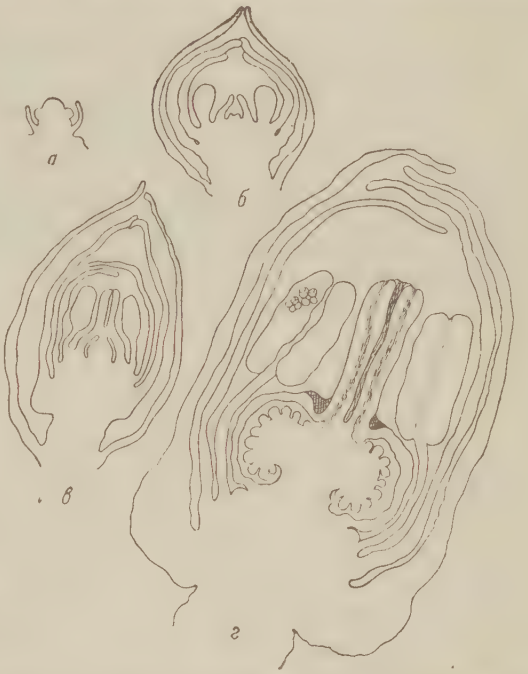


Рис. 1. Формирование цветка у Cassiope tetragona (L.) D. Don. *а* — зачаток цветка (30 VI); *б* — цветок на 10 день формирования; *в* — то же к 20 VII; *г* — цветок к 20 VIII и во время зимнего покоя

2. Cassiope tetragona — приподнимающийся вечнозеленый кустарничек. Снеголюб. Произрастает при устойчивом снежном покрове зимой не менее 40 — 50 см. Ветвление, как и у предыдущего вида, моноподиальное. В пазухах верхних листьев побега второго года жизни (один год — почечное развитие) закладываются 2 — 4 — 6 цветков. Начало дифференциации их (рис. 1*а*) совпадает с периодом начала отцветания (30 VI) и усиленного роста побега. Через 10 дней хорошо обосабливаются части околоцветника, намечаются пыльники. Завязь в виде отдельных, не сросшихся верхушками плодолистиков (рис. 1 *б*). К 20 VII полностью обосабливаются пыльники и тычиночные нити; срастаются плодолистики (рис. 1 *в*). Через месяц в пыльниках образуется пыльца, а в завязи дифференцируются семяпочки (рис. 1 *г*). В таком состоянии скрытый в пазухе листа, защищенный почечными чешуями цветок уходит в зиму. Период формирования завершается за 46 дней.

3. Sieversia glacialis — крупный многолетник, обычно с хорошо развитой стержневой корневой системой и сравнительно слабо разветвленным корневищем, покрытым плотным чехлом мертвых остатков черешков. Заложение цветка происходит в пазухе листа, у которого начинается дифференциация пластинки. В первый год формирования едва обосабливается цветонос, на котором намечаются зачатки листьев. У будущего цветка лишь намечаются бугорки чашечки и венчика. Во второй вегетационный период дифференциация протекает гораздо быстрее. При этом все зачатки цветков (и несущих их цветоносов) погибают, остается лишь один (редко два) в пазухе самого наружного листа почки или же чаще — за почкой (в пазухе самого внутрен-

него листа вегетации данного года). Время, потребное для полного формирования цветка, 143 дня. Внепочечное положение генеративного побега у Sieversia glacialis, а также флоральное опережение ([3]) позволяют цветение в наиболее ранние сроки; вид относится к ранневесенним. У Sieversia glacialis и у подобной ей по характеру формирования Acomastylis rossii весьма редко вместо цветка в пазухе листа закладывается вегетативный побег. Поэтому ветвление их корневищ происходит раз в несколько десятков лет.

Ботанический институт им. В. Л. Комарова
Академии наук СССР

Поступило
3 XI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] П. Л. Горчаковский, Зап. Уральск. отд. геогр. общ. СССР, **2**, 1 (1955). [2] А. Ф. Миддендорф, Путешествие на Север и Восток Сибири, СПб., **1—6** (1860—1867). [3] И. Г. Серебряков, Морфология вегетативных органов высших растений, М., 1952. [4] И. Г. Серебряков, Уч. зап. Московск. гор. пед. инст., **37**, № 2, 21 (1954). [5] Б. А. Тихомиров, Бюлл. МОИП, отд. биол., **54**, № 4, 32 (1950). [6] Б. А. Тихомиров, В кн. Снег и талые воды, М., 1956. [7] Б. А. Тихомиров, Бот. журн., **42**, № 9, 1427 (1957). [8] F. R. Kjellman, Stud. und Forschungen Herausgeg. v. A. E. Nordenskiöld, Leipzig, 1885, S. 404. [9] Th. Sörensen, Meddelelser om Grönl., **125** (1941).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ЭКОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

И. В. КАРМАНОВА

ОСОБЕННОСТИ СЕМЕННОГО И ВЕГЕТАТИВНОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ НА ВЫРУБКАХ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ

(Представлено академиком В. Н. Сукачевым 3 XI 1960)

Изучение семенного возобновления в травянистых ценозах показало, что конкуренция корней взрослых растений ограничивает рост и развитие всходов ([1-4]). Поскольку напряженность конкурентных отношений в подземном ярусе неизбежно должна меняться по мере формирования сообщества, интересно проследить изменение интенсивности семенного возобновления на вырубках различного возраста. Исследования проводились на вырубках, представляющих различные стадии формирования сообщества иван-чая (Chamaenerion angustifolium (L.) Scop.). Объектами изучения явились вырубки от одного до девяти лет, сопряженные в своем развитии с маломощным подзолом.

Таблица 1

Масса живых корней травяно-кустарничкового яруса в граммах на 1 м²

Горизонт, см	1-летняя вырубка	4-летняя вырубка	8-летняя вырубка
0—3	6,9	31,4	178,7
3—10	4,6	78,6	126,3
10—30	3,5	74,1	96,5
	15,0	184,1	401,5

Свежие вырубки первого и второго года отличаются слабым развитием травяного покрова и наличием больших площадей, где растения почти нацело отсутствуют. Масса корней незначительна (табл. 1), смыкания корневых систем не наблюдается. Характерной чертой вырубок этого возраста

Таблица 2

Число побегов на 1 м² в сообществах иван-чая на вырубках различного возраста

Вид	1—2-летняя вырубка		3—4-летняя вырубка		7—8-летняя вырубка	
	семен.	вегет.	семен.	вегет.	семен.	вегет.
Betula pendula Roth. (всходы до 1 года)	80		30		11	—
Chamaenerion angustifolium (L.) Scop.	300		60	45	2—3	43
Epilobium montanum L.	1 тыс.		1,5—2 т	—	—	—
Rubus idaeus L.	70	2	11	41	—	3—5
Vaccinium myrtillus L.	—	70	—	30	—	16
Vaccinium vitis-idaea L.	—	120	—	140	—	—
Leucanthemum vulgare Lam.			1—3	5	—	11
Viola canina L.					6	11
Rumex acetosella L.					3	19
Melampyrum pratense L.					7	17

является значительная роль процессов семенного возобновления. Как видно из табл. 2, семенное возобновление характерно для будущих эдификаторов травяного покрова — иван-чая, малины (Rubus idaeus L.), кипрея (Epilobium montanum L.) и т. д. Одновременно наблюдается массовое появление всходов древесных пород. Так, на отдельных вырубках число всходов березы (Betula pendula Roth.) достигает 8—10 тыс. на 100 м². Кроме того, отмечается значительное число побегов вегетативного происхождения — черники (Vaccinium myrtillus L.), брусники (Vaccinium vitis-idaea L.), кислицы (Oxalis acetosella L.) и др. Всходы большинства видов, достигнув генеративной стадии, переходят к энергичному вегетативному возобновлению. Насколько энергично идет вегетативное возобновление, например у иван-чая, показывают следующие цифры: экземпляр иван-чая за одно лето может занять площадь в 1,5—2 м² и дать 10—12 побегов.

Высокая интенсивность семенного и вегетативного возобновления обеспечивает развитие на 3—4-летней вырубке мощного травяного покрова, занимающего 95% площади. Такое бурное развитие растений связано с отсутствием конкуренции корней деревьев, потребляющих основную массу питательных веществ в почве лесного ценоза ([5]), и с резким улучшением светового режима. Основными эдификаторами в этом возрасте являются иван-чай и малина. Характерной особенностью сообществ на вырубках этого возраста служит снижение интенсивности семенного возобновления по сравнению с вегетативным (табл. 2). Одновременно загрузка почвы корнями травянистых растений возрастает больше чем в 10 раз (табл. 1), что приводит к образованию сомкнутого подземного яруса. Следовательно, площадь питания каждого растения резко сокращается. Отсюда сильно возрастает конкуренция между корневыми системами за элементы питания, особенно за подвижные формы азота. Наиболее сильно угнетены корневыми системами взрослых растений всходы. Так, обрезка корневых систем взрослого иван-чая снижает смертность его всходов в 2 раза, а размеры растений увеличиваются почти в 10 раз ([4]). Не менее показательно изменение численности всходов древесных пород (табл. 2).

На вырубках старшего возраста процесс увеличения замкнутости группировок и возрастания напряженности конкуренции в подземном ярусе выражен еще более наглядно. В сообществах на 7 — 9-летних вырубках наблюдается резкое увеличение загрузки верхних слоев почвы корнями травянистых растений (табл. 1).

Соответственно происходит усиление напряженности конкуренции в подземном ярусе. Так, обрезка корневых систем иван-чая вызывает увеличение размеров его всходов в 15 раз. Всходы в сообществах встречаются в небольших количествах и маложизненны. Малочисленны всходы древесных пород (табл. 2).

Таким образом, по мере захвата свободной территории у растений возрастает роль вегетативного возобновления по сравнению с семенным. Это связано с тем, что в условиях напряженной конкуренции корневых систем побеги вегетативного происхождения с первых дней жизни имеют более благоприятные условия для своего развития, так как они используют сформировавшуюся и разветвленную корневую систему, в отличие от корней всходов. Вследствие этого побегам вегетативного происхождения доступно большее количество питательных веществ, чем всходам. Действительно, если в сообществе иван-чая на 4 — 9-летних вырубках отмирает 90 — 95% его всходов, то среди вегетативных побегов, как правило, отпада не наблюдается и 40 — 60% побегов достигает генеративной стадии. Одновременно по мере формирования сообщества наблюдается последовательное уменьшение размеров всходов иван-чая, щучки и березы на площадках без изоляции корневых систем взрослых растений. Не менее показательно резкое уменьшение числа всходов в сообществах с возрастом (табл. 2). Таким образом, увеличение напряженности конкуренции в подземном ярусе вызывает значительные изменения в структуре и составе травяного покрова сообщества.

При дальнейшем развитии сообщества происходит формирование сомкнутого древесного яруса (в возрасте 10 — 15 лет) и наблюдается быстрое выпадение из состава травяно-кустарничкового яруса иван-чая, малины и других эдификаторов сообществ вырубок. Как показали исследования В. Г. Карпова ([6]), это происходит главным образом в результате перехвата корневыми системами березы большой части питательных веществ. Вследствие этого условия питания растений травяно-кустарничкового яруса резко ухудшаются. Кроме того, под пологом древостоя происходит значительное снижение интенсивности света, а ухудшение условий питания вызывает повышение светового минимума. Недостаток питания и снижение количества света вызывает выпадение таких требовательных к питанию растений, как иван-чай и малина. В травяно-кустарничковом ярусе начинают обильно разрастаться за счет вегетативных побегов черника, брусника, майник (Maianthemum bifolium (L.) Fr. Sch.), т. е. виды, приспособленные к жизни при недостатке питательных веществ и света.

Не менее распространен путь смены сообществ иван-чая сообществом вейника (Calamagrostis Langsdorffii Trin.) с последующим образованием березняка вейникового. Обычно это наблюдается на вырубках, подвергшихся воздействию человека. Особенностью вейника является слабое семенное возобновление, так как всхожесть его семян исключительно низка. Поэтому в исследуемом районе разрастание вейника наблюдается в основном там, где есть его корневища. Корневища вейника, более поверхностные и разветвленные, образуют плотный войлок и успешно вытесняют корневища иван-чая, по-видимому ухудшая их условия питания и аэрации.

Дальнейшее развитие идет аналогично вышеописанному: создается древесный ярус из березы, а в травяно-кустарничковом ярусе наблюдается выпадение вейника и других видов, характерных для вырубки, и разрастание черники, брусники, майника и т. д. Только выпадение вейника происходит более медленно, чем иван-чая, и часто затягивается на долгий срок. Этот этап характеризуется преобладанием процессов вегетативного возобновления. Семенное размножение практически отсутствует.

Таким образом, по мере формирования сообщества на вырубках среднетаежной зоны увеличивается напряженность конкурентных отношений в подземном ярусе, что приводит к ухудшению условий питания каждого растения. Отсюда уменьшение интенсивности семенного возобновления и значительное возрастание роли вегетативного размножения. Следует отметить, что все крупные смены в травяно-кустарничковом ярусе от вырубки до ельника определяются процессами вегетативного, а не семенного возобновления.

Лаборатория лесоведения
Академии наук СССР

Поступило
2 XI 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] И. Д. Богдановская-Гиенэф, Зап. Ленингр. с.-х. инст., **3** (1926). [2] K. Linkola, Acta forest. fennica, **42**, № 2 (1935). [3] Т. А. Работнов, Д. И. Алмазова, ДАН, **94**, № 2 (1954). [4] И. В. Карманова, ДАН, **127**, № 3 (1959). [5] В. Г. Карпов, Бот. журн., **45**, № 2 (1960). [6] В. Г. Карпов, ДАН, **129**, № 5 (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Н. П. КОРАБЛЕВА

ДЕЙСТВИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОЧЕК РОСТА КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

(Представлено академиком А. И. Опариным 14 XI 1960)

Известно, что γ-лучи задерживают выход клубней из состояния покоя (дозы порядка от 3 тыс. до 5 тыс. r) или полностью лишают «глазки» способности к прорастанию (дозы от 8 тыс. r и выше). Наряду с изучением биохимических изменений, имеющих место в клубнях после облучения их Co^{60} (1), исследовали также изменения в анатомии и морфологии верхушки побега, а гистохимически — распре еление веществ по тканям. Особое внимание обращено на содержание и распределение ядерной дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) и цитоплазматической рибонуклеиновой кислоты (РНК).

Рис. 1. Анатомическое строение верхушки побега картофеля: *а* — в покое, *б* — при прорастании; *1* — туника, *2* — субапикальная инициальная меристема, *3* — центральная стержневая меристема, *4* — периферическая меристема, *5* — листовые зачатки, *6* — камбиевидный слой. 400 ×

Конус нарастания картофеля в покое имеет плоскую форму (рис. 1 *а*), число клеток в ширину равняется 30—31, считая клетки только что возникших листовых зачатков. Один слой туники состоит из разных по форме клеток, а большее число делений в этом слое заметно в месте образования будущего зачатка листа (с левой стороны конуса на рис. 1 *а*). Под туникой имеются 2 слоя крупных клеток субапикальной инициальной меристемы, а 3—4 слоя нижерасположенных клеток являются ее производными — клетками центральной стержневой меристемы. Ниже следуют крупные клетки с межклетниками,— это уже сердцевина. Зачатки листьев верхушки побега образуются, по-видимому, за счет деления второго слоя конуса нарастания. В листьях хорошо заметен один слой туники. В основании листовых зачатков идет очень быстрая дифференциация тканей. Вследствие этого в стебле рано появляются сердцевина и кора. Таким образом, для конуса нарастания картофеля в покоящемся состоянии характерны плоская форма, малое количество эмбриональной ткани и рано начинающиеся процессы старения тканей. Большой интерес представляет распределение нуклеиновых кислот. Наиболее богаты РНК клетки туники, производных рядов субапикальной инициальной меристемы и, особенно, центральная часть периферической меристемы, которая со временем превратится в прокамбий. Много РНК в самых молодых листовых зачатках, особенно с их внутренней стороны (рис. 2). Следует подчеркнуть, что

РНК богаты и ядрышко, и цитоплазма. В клетках перечисленных тканей содержание ДНК тоже повышено (рис. 2). Менее богаты нуклеиновыми кислотами клетки сердцевины, коры, чешуй и постаревшие клетки листьев. В этих тканях понижено содержание цитоплазматической РНК и ДНК в ядре. Наиболее богаты нуклеиновыми кислотами самые молодые, способные к активному делению клетки конуса нарастания.

При прорастании клубня строение конуса нарастания и верхушки побега изменяется. Длина побега 0,2—0,4 мм. Конус нарастания теперь становится полушаровидным, увеличивается высота эмбриональной ткани. Клетки туники различны по форме, неоднородны, более крупные расположены по краям, ближе к листовым зачаткам. В тунике ясно видны 2 слоя клеток. Хотя число слоев меристемы (от поверхности конуса до сердцевины) сохраняется то же, что было у покоящейся почки ([8-9]), объем конуса нарастания возрастает. Число клеток в ширину не увеличивается (29—31), но они становятся крупнее. Увеличение объема конуса и числа делящихся клеток в нем свидетельствует о повышении его активности. На уровне основания последних листовых зачатков заметно 3—4 слоя клеток, правильно расположенных друг над другом. Попэм (цит. по ([4])) называет эти клетки камбиевидным слоем и считает его наличие систематическим признаком некоторых голосемянных растений. Наши наблюдения показывают, что этот признак появляется только в фазу активного роста верхушки побега, и мы присоединяемся к мнению авторов ([4]), которые связывают наличие этого слоя с ростом междоузлия. О повышенной активности клеток верхушки побега при прорастании свидетельствует также задержка старения клеток. Дифференциация коры здесь наблюдается позднее, чем в покоящемся состоянии — на уровне 3-й пары листовых зачатков, если считать их сверху.

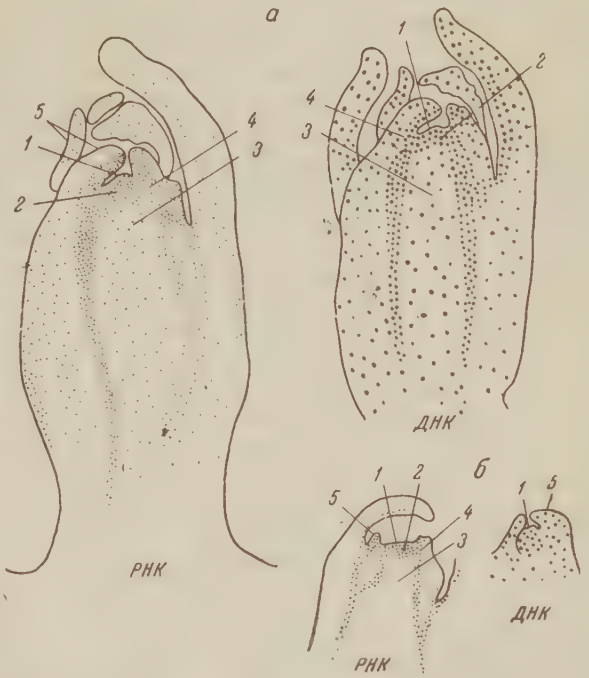


Рис. 2. Распределение РНК и ДНК в верхушке побега картофеля. Обозначения те же. 1.56 ×

При прорастании ткани верхушки побега обогащаются нуклеиновыми кислотами, особенно цитоплазматической РНК (рис. 2). Пиронинофилия резко возрастает во всех тканях конуса и верхушки побега. В побеге из дифференцированных тканей наиболее богаты нуклеиновыми кислотами прокамбий и меристематические клетки в основании листьев, из которых впоследствии возникает пазушная почка (рис. 2). На более поздней стадии развития (длина побега над клубнем составляет 1,5—2,0 см) количество эмбриональной ткани в верхушке побега еще более возрастает, повышается содержание нуклеиновых кислот. Таким образом, строение конуса нарастания и верхушки побега картофеля изменяется при переходе от состояния глубокого покоя к прорастанию. Рост побега, дифференциация его тканей связаны с накоплением в ядре и цитоплазме нуклеиновых кислот.

После облучения клубней в дозах 500—2 000 г строение тронувшегося

в рост побега отличается от контрольного (рис. 3). Морфологически побег из облученного клубня имеет форму чаши с тремя окружающими ее вытянутыми листочками. Анатомический анализ показал, что один из этих листочков является деформированной верхушкой побега, а два других — видоизмененными первыми листьями. Клетки конуса нарастания в таком по-

Рис. 3. Распределение нуклеиновых кислот в верхушке побега при облучении. *I* — РНК в прорастающем «глазке» после облучения в дозе 500 г: *1*—туника, 500 г; *2*— туника, контроль; *3*— часть камбиевидного слоя с клетками коры, прокамбия и сердцевины, 500 г; *4* — то же, контроль. *II*—РНК в прорастающем контрольном «глазке»: *5* — туника, *6* — прокамбий, *7* — центральная стержневая меристема. *III* —РНК в «глазке» через 6,5 мес. после облучения в дозе 10 000 г: *8* — прокамбий, *9* — туника, *10* — центральная стержневая меристема. *IV* — ДНК в прорастающем контрольном «глазке»: *11*—туника, *12*— прокамбий. *V*—ДНК в «глазке» через 6,5 мес. после облучения в дозе 10 000 г: *13*— центральная стержневая меристема и прокамбий. *I* — *V* — 56 ×, *1* — *13* — 280 ×

беге сжаты, сплюснуты (рис. 3). В них много РНК, но распределена она необычно. Наиболее интенсивная окраска наблюдается в оболочках и даже в межклетниках, там где они имеются. Ядрышко окрашено менее интенсивно, чем в контроле, границы ядра очень неопределенны. Очевидно, облучение нарушает органоиды, целостность клетки, и РНК распределяется диф-

фузно по клетке и вне ее. Клетки сердцевины в верхушке побега сильно вытянуты в длину, и весь побег похож на листок — он тонкий и удлиненный. Нуклеиновых кислот в клетках сердцевины гораздо меньше, чем в конусе. Но несмотря на довольно высокое содержание нуклеиновых кислот конус нарастания на некоторое время теряет способность к росту и новообразованию органов и тканей. В этот период происходит лишь сильное вытягивание клеток сердцевины и разрастание междоузлия на уровне основания последней пары листьев. Это разрастание, как показывает сравнение числа клеток в нормальном и облученном побеге, совершается в основном за счет растягивания клеток по радиусу стебля. В этих клетках с деформированными ядрами содержание нуклеиновых кислот резко понижается. Величина и форма их чрезвычайно разнообразны. Присущую им форму и повышенное содержание РНК дольше всех сохраняют клетки прокамбия. Растягивание, а также незначительное деление клеток (с внутренней стороны прокамбия) камбиевидного слоя и обусловливает образование «чаши». Следовательно, облучение нарушает обмен нуклеиновых кислот, лишая на некоторое время клетки конуса нарастания способности к делению. Через 25—30 дней после прорастания побег приобретает нормальный вид, не отличаясь от контрольного по темпам роста и заложения новых органов.

После облучения в дозах 8000—10 000 г и выше клубни картофеля не прорастают. При выходе контрольных клубней из состояния покоя «глазки» облученных клубней лишь «наклевываются». Клетки облученного конуса нарастания не делятся (рис. 3), но сильно вытягиваются в длину и ширину. Формы, которые приобретает верхушка побега в результате подобного перерождения, очень разнообразны (рис. 3). Разнокачественность, присущая тканям нормального побега, совершенно исчезает. Клетки в основном имеют одинаковые размеры, большие вакуоли и межклетники, деформированные ядра. Количество пиронинофильной РНК в цитоплазме резко уменьшается, содержание ДНК в ядре и РНК в ядрышке намного меньше, чем в клетках клубней контрольных или облученных меньшими дозами.

Результаты химического определения содержания нуклеиновых кислот полностью согласуются с изложенным ранее (*). Содержание РНК и ДНК понижается в «глазках» сразу же после облучения в дозах 5000 г и выше (табл. 1). Особенно резкая разница в содержании нуклеиновых кислот (главным образом, РНК) между облученными и контрольными клубнями обнаруживается при выходе последних из состояния покоя в апреле — мае. Из изложенного следует, что нарушение ростовых процессов в конусе нарастания при облучении тесно связано с изменениями в нуклеиновом обмене.

Таблица 1

Содержание нуклеиновых кислот в «глазках» при хранении, в граммах фосфора на 1 г сухого вещества. Сезон 1958—1959 гг. Сорт Лорх

Кислота	Вариант	Декабрь	Январь	Март	Апрель	Май
РНК	Контроль	139,7	122,4	140,1	153,7	291,7
	5000 г	60,8	91,4	82,6	79,2	170,1
	8000 г	57,1	89,7	106,4	64,5	129,8
	500 000 г	49,6	93,5	78,5	74,1	93.8
ДНК	Контроль	169,1	151,1	130,8	170,0	188,2
	5000 г	—	159,5	108,4	119,6	184,6
	9000 г	121,3	155,1	120,8	122,8	150,1
	500 000 г	130,4	139,6	116,8	83,7	84,8

Автор пользуется случаем выразить искреннюю благодарность проф. Б. А. Рубину, доктору с.-х. наук Л. В. Метлицкому и проф. В. К. Василевской за ценные советы при выполнении настоящей работы.

Институт биохимии им. А. Н. Баха
Академии наук СССР

Поступило
31 X 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Б. А. Рубин, Л. В. Метлицкий и др., Сборн. Биохим. плодов и овощей, 5 (1959). [2] Э. Пирс, Гистохимия, 1956. [3] M. Ogur, G. Rosen, Arch. Biochem., 25, 262 (1950). [4] В. К. Василевская, Е. А. Кондратьева-Мельниль, Пробл. бот., № 3, 289 (1958). [5] Н. П. Кораблева, Н. П. Морозова, Объед. научн. сессия по нукл. кисл. раст., тезисы, Уфа, 1958.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

А. И. КОРОВИН, З. Ф. СЫЧЕВА и З. А. БЫСТРОВА

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА УСВОЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ ФОСФОРА

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 12 IV 1960)

Установлено, что при пониженной температуре почвы растения плохо усваивают азот и фосфор ([1-8]).

Опыты, проведенные с ячменем и кукурузой при постоянном охлаждении корней, показали, что содержание фосфорной кислоты во все фазы развития выше у растений на теплой почве, чем у растений на холодной почве. Однако особенно сильно ухудшается усвоение фосфора на холодных почвах в начальный период развития растений.

На Севере, кроме постоянно пониженной температуры почвы, часто бывают временные похолодания, сопровождающиеся снижением температуры почвы, даже в случае легких, хорошо прогреваемых супесчаных и песчаных почв. Нами были проведены исследования по влиянию временного охлаждения почвы на усвоение фосфора картофелем и кукурузой в различные периоды их онтогенеза. С этой целью были проведены вегетационные опыты в почвенной культуре на фоне NPK (по 0,5 г действующего начала каждого вида удобрения на сосуд) в термовегетационном домике ([4,7]).

Растения выращивались в вегетационном домике, в соответствующее время одна часть сосудов помещалась в холодную ванну (10—14°), другая — в теплую (20—25) и третья часть оставлялась для контроля (при 15—20°). Определение фосфорной кислоты проводили через 24 часа и через 5 суток после помещения сосудов с растениями в теплую или холодную ванну.

Параллельно учитывался сухой вес отдельных частей и всего растения, что давало возможность учесть общий вынос фосфора отдельными частями растений и растением в целом.

Результаты анализа на содержание фосфора в отдельных частях растений представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Содержание фосфорной кислоты в отдельных частях растений картофеля в связи с кратковременным воздействием различной температуры почвы (в % на абс. сух. вес)

Фазы развития	Дата	Листья			Стебли			Корни			Клубни		
		а	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*
До бутонизации													
Через 24 часа	25 VI	1,00	0,97	0,98	0,64	0,63	0,67	0,66	0,68	0,65	—	—	—
Через 5 сут.	29 VI	1,02	0,66	1,08	0,58	0,32	0,55	0,60	0,58	0,63	—	—	—
Цветение													
Через 24 часа	20 VII	0,60	0,61	0,59	0,26	0,25	0,28	0,41	0,52	0,43	0,56	0,55	0,48
Через 5 сут.	24 VII	0,66	0,48	0,56	0,30	0,18	0,28	0,42	0,30	0,57	0,54	0,48	0,50
Созревание													
Через 24 часа	20 VIII	0,54	0,49	0,51	0,17	0,15	0,16	0,47	0,38	0,42	0,42	0,43	0,52
Через 5 сут.	24 VIII	0,58	0,39	0,43	0,14	0,10	0,16	0,51	0,38	0,45	—	—	—

Примечание. Здесь и в табл. 2: *а* — тепло (20—25°), *б* — холод (10—14°), *в* — контроль (15—20°).

Таблица 2

Содержание фосфорной кислоты в отдельных частях растений кукурузы в связи с кратковременным воздействием различной температуры почвы (в % на абс. сух. вес)

	Листья			Стебли			Корни		
	а	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*	*а*	*б*	*в*
Четвертый лист									
Через 24 часа	0,78	0,59	0,66	—	—	—	0,52	0,51	0,52
Через 5 сут.	0,86	0,44	0,62	—	—	—	0,66	0,42	0,58
Трубкование									
Через 24 часа	0,51	0,43	0,38	0,63	0,61	0,60	0,32	0,32	0,32
Через 5 сут.	0,41	0,37	0,41	0,55	0,45	0,49	0,27	0,33	0,28
Метелка									
Через 5 сут.	0,37	0,34	0,27	0,29	0,26	0,25	0,18	0,17	0,17

Таблица 3

Поглощение фосфорной кислоты ячменем при охлажденной и неохлажденной корневой системе (в мг/л)

Температура раствора	От посева до трубкования	От трубкования до начала появл. 6 листа	От 6 листа до колошения
	17 VI—3 VII	3 VII—17 VII	17 VII—31VII
15—20° (смена раствора при наступлении фазы развития)	68 / 4,3	73 / 5,2	91 / 6,5
6—10° (смена раствора одновременно с теплом)	32 / 2,0	38 / 2,7	57 / 4,1
	17 VI—10 VII	10 VII—23 VII	23 VII—7 VIII
8—10° (смена раствора при наступлении соотв. фазы) развития)	41 / 1,8	31 / 2,4	80 / 5,3

Примечание. Здесь и в табл. 4 и 5 числа над чертой — поглощение за всю фазу, под чертой — в среднем за день.

Из табл. 1 видно, что кратковременное изменение температуры в зоне корней оказывает влияние на поступление фосфора в растение уже в первые сутки после начала воздействия. Так, например, в фазе до начала бутонизации у картофеля снижение температуры корней до 10—14° уже через 24 часа ведет к некоторому снижению содержания P_2O_5 в листьях по сравнению с контролем. У растений на теплой почве (60—25°), напротив, через 24 часа содержание P_2O_5 в листьях возросло. Через 5 суток при охлаждении корневой системы в листьях картофеля наблюдалось более сильное падение содержания фосфора (0,66%), тогда как у контрольных растений и у растений, находящихся при повышенной температуре почвы, содержание фосфора увеличилось. В корнях и в стеблях при снижении температуры почвы также наблюдается снижение содержания фосфора.

Учет выноса фосфора целым растением показывает, что растения на утепленной почве и контрольные растения в первые фазы развития выносят из почвы примерно в 2 раза больше фосфорной кислоты, чем растения с охлажденной почвы. Та же самая закономерность наблюдается и при воздействии температуры в более поздние фазы. Так, в фазу цветения и созревания данная закономерность остается в силе, хотя различие в содержании фосфора в растениях на утепленной и охлажденной почве несколько сглаживается. То же самое относится и к кукурузе (табл. 2).

Итак, пониженная температура почвы сказывается на поступлении фосфора очень быстро. Уже в первые сутки после начала воздействия обнаружено снижение поступления фосфора в растениях, которое с увеличением времени воздействия температурой (до 5 суток) возрастает.

Для изучения зависимости фосфорного питания растений от температуры почвы нами был использован метод учета поглощения фосфорной кислоты из раствора в водных культурах. Растения ячменя и картофеля выращивались на нормальной смеси Кнопа. Температуры опыта были для ячменя 6—8°

(холод), для картофеля 10—14° (холод) и 15—20° (тепло). Смена питательного раствора производилась в конце прохождения каждой фазы развития, что позволяло учитывать количество использованной P_2O_5 на протяжении данной фазы. Как уже отмечалось, на холоде происходит замедление наступления фаз развития. Чтобы сравнить поглощение веществ на холоде и на тепле за каждую фазу развития, в одной части сосудов «холодного» варианта смена раствора и учет поглощения производились одновременно с «теплым» вариантом, и в другой части сосудов смена производилась при наступлении соответствующей фазы развития. Чтобы исключить влияния возможного по тем или иным причинам разложения веществ в растворе, на тепле и на холоде ставились сосуды с исходным раствором, но без растений. Результаты проведенного учета поглощения фосфорной кислоты ячменем и картофелем представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 4

Поглощение фосфорной кислоты картофелем при различной температуре питательного раствора (в мг/л)

Температура раствора	Бутонизация 2 VII—16 VII	Цветение 16 VII—5 VIII	Созревание 5 VIII—17 VIII
15—20°	37 / 2,6	95 / 6,3	49 / 4,1
10—14°	30 / 2,1	64 / 4,3	35 / 2,9

Анализ полученных данных показывает, что поглощение фосфора из охлажденного раствора у ячменя меньше как в среднем за день, так и за фазу развития. Различия, довольно резкие в начальный период, к концу вегетации несколько сглаживаются, но все же остаются.

У картофеля учет поглощения P_2O_5 на холоде проводится только в один срок — одновременно с «теплым» вариантом. Результаты опыта показывают, что на холоде у картофеля поглощение фосфора замедлено в течение всего вегетационного периода.

Таблица 5

Поглощение нитратов ячменем при охлажденной и неохлажденной корневой системе (мг/л)

Температура раствора	От посева до трубкования	От трубкования до начала появл. 6 листа	От 6 листа до колошения
	17 VI—3 VII	3 VII—17 VII	17 VII—31 VII
15—20°	226 / 14	384 / 27	404 / 29
6—10° (смена раствора одновременно с теплом)	180 / 11	196 / 14	386 / 28
	17 VI—10 VII	10 VII—23 VII	23 VII—7 VIII
6—10° (смена раствора при поступлении соотв. фазы развития)	238 / 11	240 / 19	406 / 27

Поглощение нитратов у ячменя в среднем за день из охлажденного раствора оказалось меньше, чем из неохлажденного, вследствие удлинения фаз развития. Но на протяжении каждой фазы (на холоде наступление фаз запаздывает на 3—6 дней по сравнению с теплом) растения используют как из охлажденного, так и из неохлажденного раствора почти одинаковое количество нитратов, т. е. они переходят в следующую фазу только после того, как поглотят необходимое количество нитратов (см. табл. 5).

Таблица 6

Учет урожая в опытах с ячменем (в г/сосуд)

	На холоде	На тепле
Зерно	8,3	17,26
Солома	23,08	25,13
Корни	4,71	1,6

Урожай зерна на холоде оказался в два раза ниже, чем в «теплом» варианте (табл. 6). Сопоставляя эти данные с данными о поглощении азота и фосфора, можно предположить, что медленным поглощением азота на холоде

обусловливается замедленное развитие растений, а затрудненным поступлением фосфора — более низкий урожай зерна.

Как показано было ранее ([3],[4]), «северная доза» удобрений (на одну дозу азота берется 2—3 дозы фосфора и полторы дозы калия) увеличивает урожай зерна на холодной почве вследствие стимуляции поступления фосфора в растения, так как увеличение фосфора в растворе сопровождается усиленным его поглощением.

Таблица 7

Урожай и содержание фосфора в растениях в опытах М. М. Цыбы с рожью

Варианты	Урожай (в ц/га)		Содержание фосфора (в % на абс. сух. вес)		
	солома	зерно	в соломе	в корнях	в зерне
NPK	35,81	13,2	0,23	0,25	0,26
«Северная доза»	43,41	18,35	0,29	0,30	0,26

В полевом опыте с рожью, проведенном на Агробиологической станции Института биологии Карельского филиала АН СССР М. М. Цыбой в 1958—1959 гг. по фону NPK и по «северной дозе» были получены результаты (табл. 7), говорящие о том, что по фону северная доза у ржи увеличивает урожай зерна и соломы и даже в конце вегетации растения содержат больше фосфора, чем по фону NPK.

Увеличение содержания фосфора в почве или в питательном растворе способствует усилению его поступления в растения и благоприятно влияет на урожай при пониженных температурах почвы.

Институт биологии Карельского филиала
Академии наук СССР

Поступило
29 III 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. П. Дадыкин, Особенности поведения растений на холодных почвах, Изд. АН СССР, 1952. [2] З. И. Журбицкий, Д. В. Штраусберг, ДАН, **96**, № 5 (1954). [3] А. И. Коровин, ДАН, **115**, № 6 (1957). [4] А. И. Коровин, Тр. Соликамской с.-х. опытной станции Соликамского калийного комбината, 1958. [5] Д. Ж. Кетчесон, С.-х. за рубежом, № 11 (1957). [6] А. И. Коровин, Физиол. раст., **5**, в. 1 (1958). [7] А. И. Коровин, В. К. Курец, Изв. Карельск. и Кольск. филиалов, № 4 (1959). [8] З. Ф. Сычева, З. А. Быстрова, Изв. Карельск. и Кольск. филиалов, № 4 (1959).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИТОПАТОЛОГИЯ

А. М. ВОВК и Г. С. НИКИФОРОВА

ВИРУС НЕКРОЗА ОГУРЦА В ЭЛЕКТРОННОМ МИКРОСКОПЕ

(Представлено академиком А. И. Опариным 4 XI 1960)

В 1952 г. А. М. Вовк впервые обнаружил вирус некроза на огурцах в теплицах овощного комбината № 1, расположенного под Москвой в Марфино. В результате проведенных им исследований доказана вирусная при-

Рис. 1. Лист огурца, пораженный вирусом некроза

рода этого заболевания, изучены свойства вируса, вскрыты условия появления вируса и разработаны радикальные меры борьбы с ним.

Вирус оказался очень вредоносным: при резком поражении растений он снижает урожай огурцов на 50% и более. При падении температуры почвы и воздуха ниже 20° у растений огурца появляется вирус некроза. Недостаток света усиливает этот процесс. У растений огурцов, зараженных вирусом некроза, на листьях в начале заболевания проявляются многочисленные светло-зеленые или желтоватые округлые пятна, в центре которых клетки вскоре начинают отмирать (рис. 1). В дальнейшем отдельные пятна и некрозы увеличиваются в размере, соединяются вместе и создают на листьях некротические очаги, или же листья и стебли полностью некротизируются. В результате растения нередко погибают.

С целью обнаружения элементарных частиц вируса некроза огурца нами проведено исследование в электронном микроскопе выжимок из больных листьев огурца сорта Клинского. При заражении листьев фасоли отдельно светлыми пятнами, отмершими и зелеными участками листа огурца было обнаружено, что вирус находится в наибольшей концентрации в светлых,

неотмерших участках. Поэтому, для приготовления препаратов использовались светло-зеленые или желтые участки пораженного листа. Контролем служили здоровые растения огурцов.

Препараты для электронной микроскопии приготовлялись следующим способом. Кусочек больного или здорового листа огурца помещался в небольшую каплю воды на предметном стекле. Затем он растирался стеклянным микропестиком. Полученный экстракт набирался в капилляр микропипетки и в виде маленькой капли выдувался на приготовленную коллодиевую пленку, откуда тотчас же отсасывался, чтобы избежать слишком большой плотности осадка на мембране. Высушенные препараты подвергались подтенению хромом. Наблюдения в электронном микроскопе велись при увеличении 7000 ×.

Необходимо отметить, что при выращивании растений огурцов в теплицах они нередко в высоком проценте бывают поражены огуречным вирусом № 2 зеленой мозаики. Кроме того, растения огурцов иногда заражаются огуречным вирусом № 1. Частицы огуречного вируса № 1 представляют собой сферические образования размером 35 мμ, а частицы огуречного вируса № 2 имеют палочковидную форму.

При проведении настоящего исследования нами использованы растения, которые были заражены только вирусом некроза и не содержали других вирусов. Как известно, огуречные вирусы №№ 1 и 2 на листьях огурцов вызывают мозаику. В отличие от этого, при поражении растений огурцов вирусом некроза, мозаика отсутствует, на основании чего можно различить вирусы некроза и мозаики. Однако можно было бы допустить, что вирусы №№ 1 и 2 не проявили симптомов болезни и находятся в скрытом состоянии. Для выяснения этого вопроса мы провели проверку растений, пораженных вирусом некроза, на присутствие в них огуречных вирусов №№ 1 и 2. С этой целью растения огурца, табака, фасоли и Nicotiana glutinosa были инокулированы экстрактами из листьев огурца, пораженных вирусом некроза. У всех растений названных видов на зараженных листьях появились местные некрозы. В дальнейшем у большинства растений огурцов на неинокулированных листьях также появлялись светло-зеленые или желтые пятна, переходившие в некрозы. У растений фасоли некрозы только иногда появлялись на стеблях, черешках и на листьях, у растений табака на неинокулированных листьях некрозы не появлялись. Во всех случаях у зараженных растений указанных культур мозаика отсутствовала. Полученные результаты по заражению показывают, что исследованные растения огурцов были поражены только вирусом некроза.

При изучении препаратов, приговленных из огурцов, пораженных вирусом некроза, были обнаружены многочисленные сферические частицы диаметром примерно 20 мμ (рис. 2, см. вклейку к стр. 435). По форме и размеру они сходны с частицами вируса некроза табака. Во многих просмотренных препаратах из листьев здоровых растений огурцов подобные частицы не обнаружены.

Следовательно, величина и формы частиц, обнаруженных в тканях огурцов, пораженных некрозом, а также отсутствие подобных частиц в здоровых растениях огурцов позволяют сделать вывод, что эти образования представляют собой элементарные частицы вируса некроза.

Полученные данные по исследованию вируса в электронном микроскопе являются важным дополнительным доводом в пользу вирусной природы некротического заболевания огурцов.

Институт генетики
Академии наук СССР

Поступило
3 XI 1960

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ЗООЛОГИЯ

З. С. КАУФМАН

СТРОЕНИЕ СТИГМ SCOLOPENDRIDAE

(Представлено академиком Е. Н. Павловским 26 IX 1960)

Морфология и расположение стигм имеет неоспоримое значение для построения естественной системы сколопендрид ([1,2,7]). Однако литературные данные по вопросу об их тонкой структуре весьма немногочисленны и фрагментарны ([3,4,6]). Наиболее цельное представление о строении стигм сколопендрид дает статья Фергофа ([7]), однако автор касается только общего их плана, не затрагивая гистологии. Недавно вышла работа Фюллера ([5]), в которой дано гистологическое описание стигм некоторых хилопод, и в частности сколопендр (Cyptops).

Рис. 1. Стигма Scolopendra cingulata L. (поперечный срез)

В настоящей статье рассматривается анатомия и тонкое строение стигм трех представителей сколопендрид: Scolopendra cingulata L. (из окрестностей г. Ялты), Otostigus spinicandus New. (из Сахары) и Rhysida immarginata Por. (из Зап. Явы). Все исследованные экземпляры, фиксированные спиртом, взяты из коллекционных фондов Зоологического института АН СССР. Изучались как тотальные препараты, так и срезы. Заливка проводилась через бутиловый спирт. Срезы окрашивались борным кармином и гематоксилином Бемера с эозином.

Scolopendra cingulata L.

Стигмы имеются на сегментах, несущих 3, 5, 8, 10, 12, 14, 16, 18 и 20-е пары ног. Они расположены в плейральных областях под тергитами на особых стигмоплейральных склеритах. Стигмы всех сегментов имеют одинаковую форму, однако размеры их несколько уменьшаются в каудальном направлении. Каждая стигма представляет собой мешковидное впячивание покровов с наружным отверстием в виде равнобедренного треугольника, вершина которого направлена назад. Продольная ось стигмы параллельна латеральному краю тергита и достигает в среднем 600 μ; ширина стигмы — около 300 μ. Стенки стигмальной чаши образуют три кутикулярные складки в виде треугольников с вершинами, вдающимися в полость стигмы на-

встречу друг другу. Эти складки, образующие диафрагму стигмы, делят стигмальную чашу на две неравные части: верхнюю (меньшую) — преддверие и нижнюю — атриум. Благодаря такому расположению складок вход в атриум принимает V-образную форму. Диафрагмальные складки заполнены соединительной тканью. Сразу же под диафрагмой, вдоль длинной оси стигмы, с обеих ее сторон, расположены две изогнутые толстые пластинки, выпуклыми сторонами обращенные наружу. Вероятно, они служат опорными элементами стигмы и, возможно, соответствуют перитреме в стигмах насекомых. Гиподерма, тонким слоем подстилающая стенки стигмы, в области перитремы сильно утолщается; ее клетки становятся цилиндрическими. Ко всему нижнему краю перитремальных пластинок прикреплены сильные мышечные пучки. Сокращение их сдвигает диафрагмальные складки к центру стигмальной щели, т. е. вход в атриум суживается. Внутренняя поверхность как атриума, так и преддверия покрыта своеобразными кутикулярными выростами — трихомами. Они одинаковы по форме и размеру, имеют вид небольших многогранных палочек с маленькой плоской шляпкой на свободном конце. Трихомы расположены в шахматном порядке, почти соприкасаясь между собой свободными концами. Вокруг основания трихом лежат небольшие радиально расходящиеся утолщения кутикулы, вероятно, имеющие опорное значение. Полость атриума, лежащая под перитремой, заметно расширена. У самого дна атриума, вдоль всей стигмальной стенки, тянется небольшая кожистая складка, вся поверхность которой покрыта трихомами. На дне атриума открываются многочисленные стволы трахей. Вокруг места впадения трахей расположен венец длинных и тонких кутикулярных стерженьков, опушенных тончайшими волосками. Свободные концы этих щетинок обращены к просвету трахей и образуют дополнительное фильтрующее приспособление. Щетинки, трихомы и волоски диафрагмы являются экзокутикулярными образованиями.

Рис. 2. Стигма Otostigmus spinicandus New (поперечный срез)

Otostigmus spinicandus New.

Стигмы расположены в задней части тех же сегментов, что и у Sc. cingulata, под латеральными краями тергитов, на небольших стигмоплейральных склеритах в задней половине сегмента. Стигмальное отверстие имеет вид эллипса. Стигмы первой пары в два раза крупнее, чем стигмы следующей. Размеры остальных стигм постепенно уменьшаются в направлении к заднему концу тела. Продольная ось стигмы расположена косо: передний конец ее сдвинут дорсально. Начиная с сегмента 8-й пары ног, эта ось становится почти перпендикулярной к латеральному краю тергита. Длина ее составляет около 30 μ; ширина стигмы 20 μ. Края стигмального отверстия изрезаны небольшими выемками. Внутренняя поверхность стигмальной чаши неровна. От боковых стенок чаши отходит неровная складка — диафрагма, делящая всю полость стигмы на преддверие и атриум. Атриум по отношению к преддверию несколько смещен в сторону. Как и у Sc. cingulata, стенки стигмы образованы преимущественно эндокутикулой. Диафрагма и вся внутренняя поверхность стигмы выстланы экзокутикулярными трихомами. На дне атриума открываются устья трахей. Вокруг каждого устья имеется густой венчик фильтрующих щетинок. Дно атриума между устьями трахей имеет бугорчатую поверхность.

Стигмы имеются на сегментах, несущих 3, 5, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 18 и 20-ю пару ходильных ног. Они расположены как у описанных выше видов, причем первая пара стигм крупнее остальных, а последняя пара заметно меньше предыдущей. Стигмальные отверстия имеют вид вытянутых эллипсов. Края стигмальной щели сильно изрезаны мелкими бухточками. Стенки, образующие стигмальную щель, утолщены и состоят из основных кутикулярных слоев — эпи- и экзокутикулы. Вся же остальная часть стигмальной ча-

Рис. 3. Стигма Rhysidae immarginata Por. (продольный срез)

ши лишена эпикутикулы. Длинная ось первых двух пар стигм лежит косо по отношению к латеральному краю тергита, т. е. верхний конец стигмы направлен вперед. У остальных же стигм, кроме последней пары, длинная ось направлена перпендикулярно к латеральному краю тергита. Длинная ось стигм последней пары расположена косо, причем ее верхний конец, в противоположность стигмам первой пары, направлен назад. В среднем продольная ось стигм имеет около 100 μ, а поперечник стигмы 28 μ. Стигмальная чаша не столь глубока, как у предыдущих видов. Многочисленные и крупные неровности и бугорки (крупнее чем у Otostigmus) внутренних стенок стигмальной чаши увеличивают ее фильтрующую поверхность. Как и у других видов, вся внутренняя поверхность стигмы выстлана типичными для сколопендрид трихомами. Дно стигм состоит из кутикулярных сосочков неодинаковой длины, тесно расположенных и покрытых снаружи трихомами. Полость этих сосочков заполнена соединительной тканью и мышечными волокнами. Стенки соседних сосочков ограничивают узкие проходы, ведущие в устье трахей. Вокруг устья трахей расположен типичный венчик фильтрующих щетинок. Диафрагмальной складки, напоминающей таковую предыдущих форм, нет. Однако вся поверхность, образованная вершинами тесно расположенных сосочков, рассматривается Фергофом ([7]) как диафрагма. На фронтальных срезах удается заметить две пары мышц, идущих в разные стороны от противоположных концов стигмы (см. рис. 4). Легко предположить, что их сокращение удлиняет щель стигмальной чаши, одновременно суживая ее. По всей вероятности, полного замыкания стигмальной щели при этом не происходит.

План строения стигм Pleirostigmata в общем прост. Стигма представлена небольшим впячиванием гиподермы, на дне которого открываются трахеи. Стенки этого впячивания несут различного рода кутикулярные образования, препятствующие засорению трахей. У сколопендрид трахейная система носит примитивный метамерный характер, но вместе с тем отличается сложным и мощным развитием, превосходя в этом отношении других хилопод и даже

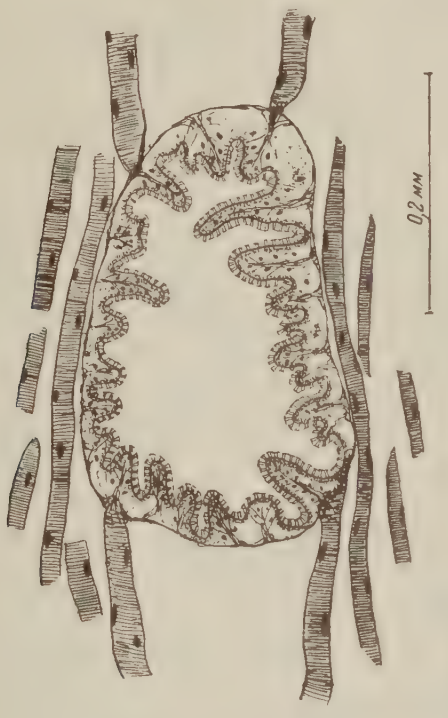


Рис. 4. Стигма Rhysidae immarginata
Por. (фронтальный срез)

некоторых насекомых. Однако в строении стигм сколопендры не пошли по пути создания новой, более сложной конструкции (как, например, некоторые Diptera). Сохранив основной план, присущий плейростигматам, они использовали все его возможности: образование диафрагмальных и других складок, образование венчиков фильтрующих щетинок, уменьшение диаметра стигмальной щели (Sc. cingulata) и входа в трахею (Rhysida), увеличение внутренней поверхности стигмальной чаши и развитие трихом. Все эти приспособления, не сложные в отдельности, в своей совокупности представляют достаточно совершенный аппарат, очищающий от твердых частиц воздух, прежде чем он поступит в трахеи.

Поступило
22 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Gr. Attems, Das Tirreich, Lief. 54, 1930. [2] R. Crabill, Bull. Brooklyn Entomol. Soc., N. S., 50, № 5 (1955). [3] Er. Haase, Zool. Anz. Jahr., 10, № 246 (1887). [4] Kohlrausch, Dissert., 1878. [5] H. Füller, Zool. Jahrb. Anat., 78, H. 1 (1960) [6] K. Verhoeff, Bronns Klassen u. Ordnungen, 5, Lief. 63, 101 (1925). [7] K. Verhoeff, Zs. Morphol. u. Ökol., 38 (1941).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ЭВОЛЮЦИОННАЯ МОРФОЛОГИЯ

И. М. МЕДВЕДЕВА

К ВОПРОСУ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ХОАН АМФИБИЙ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузеном 11 X 1960)

Своеобразие способа образования хоан и хоанального канала хвостатых и бесхвостых амфибий, заключающегося в возникновении канала не из оро-назальной борозды, а из выроста обонятельного мешка, и в закладке самих хоан не в эктодерме, а в энтодерме ротовой полости, отмеченное впервые Гинсбергом, привело этого автора, а также и других исследователей к отрицанию гомологии хоан хвостатых и бесхвостых амфибий, с одной стороны, и первичных хоан остальных наземных позвоночных — с другой ([1,2]). Эти представления были подвергнуты критике в работах позднейших исследователей, в особенности М. Курепиной ([3,4]), пришедшей к выводу, что развитие хоан и хоанального канала хвостатых и бесхвостых амфибий протекает так же, как у остальных Tetrapoda, с образованием оро-назальной борозды и эктодермальной закладкой хоан. Отсюда автором утверждалась полная гомология хоан у всех наземных позвоночных. Однако, наряду с тем, имеется ряд исследований, полностью подтверждающих данные Гинсберга ([5–7]). Таким образом, вопрос о происхождении и гомологии хоан хвостатых и бесхвостых амфибий остается открытым и в настоящее время.

Рис. 1. Графическая реконструкция поверхности головы личинки R. sibiricus длиной 10,8 мм. *г* — глаз, *ио* — инфраорбитальная плакода, *н* — ноздря, *об* — обонятельный мешок, *р* — наружная граница ротового впячивания, *со* — супраорбитальная плакода

Сравнительное и экспериментальное исследование развития хоан и хоанального канала у Rana temporaria, R. esculenta, Bufo viridis и Pelobates fuscus ([8]) показало, что хоанальный канал бесхвостых амфибий образуется не из оро-назальной борозды, которой у них не существует, а из выроста обонятельного мешка, как это было описано Гинсбергом. Хоана же возникает отдельно от обонятельной закладки из материала кишечной стенки, причем до соединения этой закладки с передней кишкой. При этом у чесночницы хоана образуется в эктодермальной части будущей ротовой полости, а у обоих видов лягушек и жабы — в энтодермальной. Этот факт, а также первоначальное подрастание хоанального выроста обонятельного мешка к эктодермальной части передней кишки и лишь последующее смещение его в энтодермальную часть указывают на вторичность энтодермального положения хоан у высших бесхвостых амфибий.

Исследование хоан и хоанального канала у семи видов хвостатых амфибий: Ranodon sibiricus, Hynobius kayserlingii, Necturus maculatus, Ambystoma tigrinum, Triton taeniatus, T. cristatus karelini и Pleurodeles waltlii, проводившееся как сравнительно-эмбриологическим, так и экспериментальным методами ([9]), показало, что так же, как и у бесхвостых, у хвостатых

амфибий не имеется оро-назальной борозды. Участок эктодермы между обонятельной ямкой и местом ротового впячивания оказывается занятым разрастающейся субназальной частью инфраорбитальной плакоды сейсмосенсорных органов (рис. 1). Хоанальный же канал развивается после разрастания инфраорбитальной плакоды не только за счет хоанального выроста обонятельного мешка, который образует лишь ростральную половину канала, но и за счет выроста стенки передней кишки, составляющего каудальную половину хоанального канала. При этом вырост передней кишки появляется до начала образования хоанального выроста обонятельного мешка (рис. 2 и 3, см. вклейку к стр. 419). Хоанальный канал, таким образом, возникает из двух отдельных закладок,вторично соединяющихся друг с другом. Хоана, тем самым, оказывается образованной только клеточным материалом выроста передней кишки. Поскольку к моменту возникновения хоаны передняя кишка состоит как из эктодермальных, так и из энтодермальных клеток, но при этом эктодерма располагается снаружи, а энтодерма составляет внутреннюю выстилку кишки, продолжаясь до самой поверхности тела эмбриона, то стенки хоаны, т. е. соединительного отверстия, ведущего из хоанального канала в будущую ротовую полость, состоят целиком из энтодермальных клеток (рис. 3). Изменение соотношения эктодермы и энтодермы в процессе развития передней кишки у хвостатых амфибий показано на рис. 4 *А—Г*. Кроме того, у хвостатых амфибий, особенно отчетливо у Hynobiidae, во время эмбрионального развития прослеживается перемещение наружных носовых отверстий из первоначального конечного положения назад к ротовому выпячиванию и обратный их сдвиг после образования хоанального канала через конец морды на дорсальную сторону головы (рис. 4 *А—Е*). Наиболее близкое расположение ноздрей к краю рта достигается в момент соединения хоанальных выростов обонятельного мешка и передней кишки.

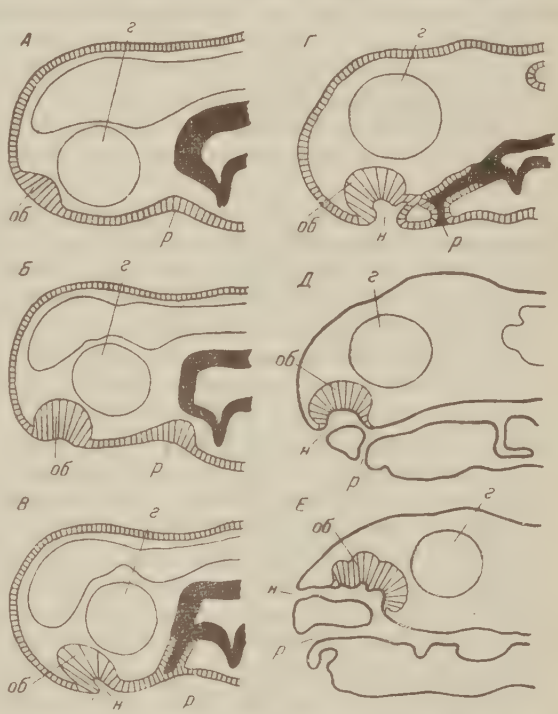


Рис. 4. Схема передвижения ноздрей и рта (*А — Е*) и изменения соотношения экто- и энтодермы (*А — Г*) в онтогенезе хвостатых амфибий. *г* - глаз, *н* — ноздря, *об* — обонятельная плакода (мешок), *р* — место ротового впячивания (рот). Эктодерма заштрихована, энтодерма — черная

Результаты экспериментов подтверждают данные по нормальному развитию хоан и хоанального канала. При пересадке обонятельной плакоды на место слухового пузырька развивающийся обонятельный мешок образует вырост хоанального типа, что не могло бы иметь места, если бы хоанальный канал развивался из оро-назальной борозды. При экстирпации обонятельной плакоды хоана образуется из материала крыши ротовой полости даже при полном отсутствии органа обоняния, что хорошо согласуется с морфологически обособленной закладкой хоаны и каудальной части хоанального канала в норме.

Наряду с этим экспериментально показано наличие определенной индукционной зависимости между закладкой органа обоняния и хоаной, так как

при полном отсутствии обонятельного мешка наблюдается следующее: 1) замедленное, по сравнению с нормой, образование хоаны и отсутствие хоанального клапана у Salamandridae; 2) замедленное образование хоанального клапана у Hynobiidae; 3) полное исчезновение хоаны во время метаморфоза у Salamandridae; 4) возникновение у Salamandridae при пересадке обонятельной плакоды на место слухового пузырька ответной реакции чужеродного эпителия глотки в виде усиления роста спиракулярного выроста, соединяющегося в результате с хоанальным выростом обонятельного мешка. Однако эта индуктивная зависимость гораздо слабее выражена у примитивных тритонов Hynobiidae, у которых после удаления обонятельной плакоды развивается совершенно нормальная хоана с клапаном, не исчезающая во время метаморфоза, а пересаженная обонятельная плакода не вызывает усиленного роста спиракулярного выроста глотки. Следы индуктивной зависимости проявляются только в некотором отставании развития хоанального клапана. Таким образом, в ряду хвостатых амфибий экспериментально прослеживается возникновение и дальнейшее усиление формообразовательной связи типа эмбриональной индукции в системе обонятельная закладка — хоана.

Сравнение развития хоан и хоанального канала у хвостатых и бесхвостых амфибий показывает отсутствие принципиальных различий в этом процессе у тех и других. Зато имеются очень важные общие черты процесса, сближающие эти группы друг с другом и противопоставляющие их в этом отношении остальным Tetrapoda — это отсутствие оро-назальной борозды и развитие органа обоняния из двух отдельных закладок. Хотя у бесхвостых амфибий за счет передней кишки развивается только хоана, а не вся каудальная половина хоанального канала, можно полагать это явление вторичным, явившимся результатом вытеснения выроста передней кишки хоанальным выростом обонятельного мешка. Доказательством тому служат три случая образования каудальной части хоанального канала вместе с хоаной при полном отсутствии остальных частей органа обоняния в опытах по экстирпации обонятельной плакоды у бесхвостых амфибий ([8]).

Таким образом, оказывается, что хвостатые и бесхвостые амфибии обладают отличным от остальных наземных позвоночных способом развития органа обоняния из двух отдельных закладок. Вместе с тем в ряду хвостатых амфибий прослеживается возникновение и интенсификация формообразовательной индуктивной связи между этими закладками, что заставляет полагать эту систему (в эволюционном аспекте) относительно недавней. И далее, как у хвостатых, так и у бесхвостых амфибий происходит в онтогенезе перемещение носовых отверстий: наружных — у хвостатых амфибий — по вентральной поверхности морды ко рту и обратно, и внутренних— у бесхвостых амфибий — внутри ротовой полости.

Попробуем сопоставить эти факты с имеющимися данными о происхождении хоан наземных позвоночных вообще. Перемещение наружных ноздрей в онтогенезе хвостатых амфибий хорошо согласуется с палеонтологическими данными и подтверждает предполагаемое соответствующее перемещение ноздрей у стегоцефалов ([10], [11]). Сохранившиеся следы исторического перемещения хоаны внутри ротовой полости у бесхвостых амфибий подтверждают мнение И. И. Шмальгаузена о гомологии хоаны наземных позвоночных с задней ноздрей костных рыб, переместившейся в ротовую полость по боковой поверхности головы ([11],[12]). Доказательством этого перемещения служит нарушение у примитивных хвостатых амфибий непрерывности инфраорбитальной линии сейсмосенсорных органов во время ее развития и измененный ход снабжающего эту линию щечного нерва. Отдельная закладка премаксиллярной части инфраорбитальной линии, особая иннервация ее субназальной части, показывающая вторичное разрастание после разрыва, а также палеонтологические данные (у кистеперой рыбы Osteolepis и примитивных стегоцефалов инфраорбитальный канал доходил до ноздри, в то время как у позднейших лабиринтодонтов инфраорбитальная борозда без перерыва

соединялась с передней комиссурой) свидетельствуют в пользу именно этого пути происхождения хоаны наземных позвоночных.

Следовательно, хоана хвостатых амфибий, образовавшаяся из задней ноздри рыб, должна была иметь первоначальную связь с органом обоняния, как и хоаны всех остальных Tetrapoda. Вместе с тем развитие органа обоняния современных хвостатых и бесхвостых амфибий происходит из двух отдельных закладок. Сопоставление этих данных приводит к мысли, что в процессе филогенеза у предков хвостатых и бесхвостых амфибий произошел разрыв первоначально морфологически единого органа обоняния на обонятельный мешок с частью хоанального канала, с одной стороны, и на хоану с частью хоанального канала — с другой. Причиной этого явления могло послужить следующее. Характерными чертами как для ископаемых, так и для современных амфибий являются вторичный возврат в воду и продление личиночного развития в воде, приведшее к возникновению ряда неотеничных форм ([13-15]). Как первая, так и вторая особенности послужили причиной вторичного разрастания линий сейсмосенсорных органов. При этом продление личиночной жизни в воде и увеличение в результате этого биологического значения боковых органов у личинки должны были вызвать такое разрастание уже на ранних стадиях развития. Как упоминалось выше, вторичное разрастание инфраорбитальной плакоды, вдвигающейся между обонятельной ямкой и ротовым впячиванием, происходит у современных хвостатых амфибий еще до начала образования хоанального канала. Оро-назальная борозда предков хвостатых и бесхвостых амфибий была уничтожена историческим вторичным разрастанием инфраорбитальной линии сейсмосенсорных органов, что привело к разрыву первоначально морфологически единого органа обоняния на две отдельные закладки. Предки остальных Tetrapoda, включая и гимнофион, осваивая сушу, утрачивали личиночное развитие в воде вообще и переходили к иному способу размножения путем откладки яиц, защищенных прочными оболочками. Развитие внутри таких яиц способствовало редукции сейсмосенсорных линий, а не их разрастанию. Это обеспечило современным наземным позвоночным, за исключением хвостатых и бесхвостых амфибий, сохранение оро-назальной борозды, и следовательно, морфологического единства эмбрионального органа обоняния. Несмотря на различные пути развития, хоаны хвостатых и бесхвостых амфибий и хоаны всех остальных наземных позвоночных имеют общее происхождение от задней ноздри костных рыб, являясь, таким образом, гомологичными.

Зоологический институт
Академии наук СССР

Поступило
30 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] V. Hinsberg, Arch. mikr. Anat., **58**, 411 (1901). [2] K. Peter, In Handb. d. vgl. und exp. Entw.-Gesch. d. Wrblt., 2, T. 2, 76 (1906). [3] М. Курепина, Русск. зоол. журн., **6**, в. 3, 53 (1926). [4] М. Курепина, Русск. зоол. журн., **7**, в. 4, 3 (1927). [5] K. Schuch, Zool. Jb., Abt. Anat., **59**, 69 (1934). [6] P. P. Schneider, Zs. Anat. Entw.-Gesch., **104**, 61 (1935). [7] C. L. Tsui, Quart. J. Micr. Sci., **87**, 61 (1946). [8] И. М. Медведева, Зоол. журн., **39**, в. 4, 567 (1960). [9] И. М. Медведева, Тр. Зоол. инст. АН СССР (в печати). [10] E. Jarvik, Zool. Bidrag, Uppsala, **21**, 622 (1942). [11] И. И. Шмальгаузен, Зоол. журн., **36**, в. 1, 100 (1957). [12] Он же, Зоол. журн., **37**, в. 11, 1710 (1958). [13] Он же, Тр. Зоол. инст. АН СССР, **21**, 401 (1955). [14] Он же, Изв. АН СССР, сер. биол., № 1, 3 (1957). [15] Он же, Изв. АН СССР, сер. биол., № 1, 39 (1958).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИОЛОГИЯ

А. А. ГЮРДЖИАН

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФИЗИОЛОГИИ СВЕТО- И ЦВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЛАЗА, ПОЛУЧЕННЫЕ В ОПЫТАХ С ДЕЙСТВИЕМ САНТОНИНА

(Представлено академиком В. Н. Черниговским 29 IX 1960)

Изучение изменений цветового зрения при сантонинном отравлении представляет значительный интерес для выяснения сложных вопросов физиологии свето- и цветовосприятия. Данные, полученные в опытах с сантонинным отравлением, давно привлекали внимание исследователей и часто служили одним из оснований для построения теорий цветового зрения ([1,2]).

Большинство работ по влиянию сантонина на зрение посвящено описанию картины наблюдаемых изменений. Различные варианты этой картины в общем сводятся к тому, что освещенные предметы и тени воспринимаются окрашенными в желтый и фиолетовый цвет, тогда как фиолетовые и отчасти синие поверхности кажутся серыми, бесцветными ([3–10]).

Наша задача заключалась в исследовании влияния сантонинного отравления на пороговую световую и цветовую чувствительность глаза. Изучалась чувствительность различных участков сетчатки: периферии сетчатки (поле величиною 5°, отстоящее от центра в височную сторону на 15°), центральная ямка 1° и большое поле 12°, центр которого совпадал с центром сетчатки. Определения производились монокулярно на спектральном адаптометре. Избраны следующие участки спектра: 436; 471; 501; 546; 578; 612; 650; 690, иногда 410 и 706 мμ.

Пороги световой и цветовой чувствительности определялись в ходе темновой адаптации и после световой адаптации к ярким монохроматическим или белому раздражителям. Таким образом были выполнены две основных разновидности опытов. В одних опытах определялась пороговая чувствительность к различным частям спектра, т. е. были получены кривые световой и цветовой чувствительности. Так как перерасчета для равноэнергетического спектра не производилось, эти кривые мы называем кривыми спектральной чувствительности условно. Спектральная чувствительность определялась для темноадаптированного глаза или после предварительной световой адаптации к белому или монохроматическим раздражителям. Световой адаптации подвергался участок сетчатки величиною 60°. Определение порогов световой чувствительности производилось на 10–15 сек., цветовой на 20—25 сек. после прекращения 3-минутной световой адаптации. После этого вновь продолжалась световая адаптация до следующего определения. Так, в результате каждого опыта была получена одна пара кривых пороговой спектральной чувствительности — световой и цветовой. В других опытах определялись пороги световой и цветовой чувствительности к какому-либо одному монохроматическому стимулу в ходе темновой адаптации. Кривые темновой адаптации были получены после 5-минутной адаптации обоих глаз к белому экрану или после световой адаптации испытываемого глаза к монохроматическому раздражителю.

Опыты проводились на двух субъектах. Сантонин принимался каждым исследуемым по 5 раз. В первых трех приемах применялись дозы 0,4; 0,5 и 0,75, затем 1,0 и в последний раз 1,25 г. Действие сантонина продолжалось несколько часов, в течение которых производился ряд определений спектральной чувствительности и темновой адаптации. Получены 82

пары кривых (для световой и цветовой чувствительности). Для сравнения мы располагали значительным числом (несколько сотен) аналогичных кривых, полученных на тех же субъектах, но без приема сантонина (в другие дни). На рис. 1 и 2 приводятся типичные результаты отдельных наблюдений.

Чувствительность периферии сетчатки

Световая пороговая чувствительность при действии сантонина не обнаруживает изменений:

А. Не изменяется ни относительная спектральная чувствительность, ни абсолютная величина порогов (рис. 1*а*).

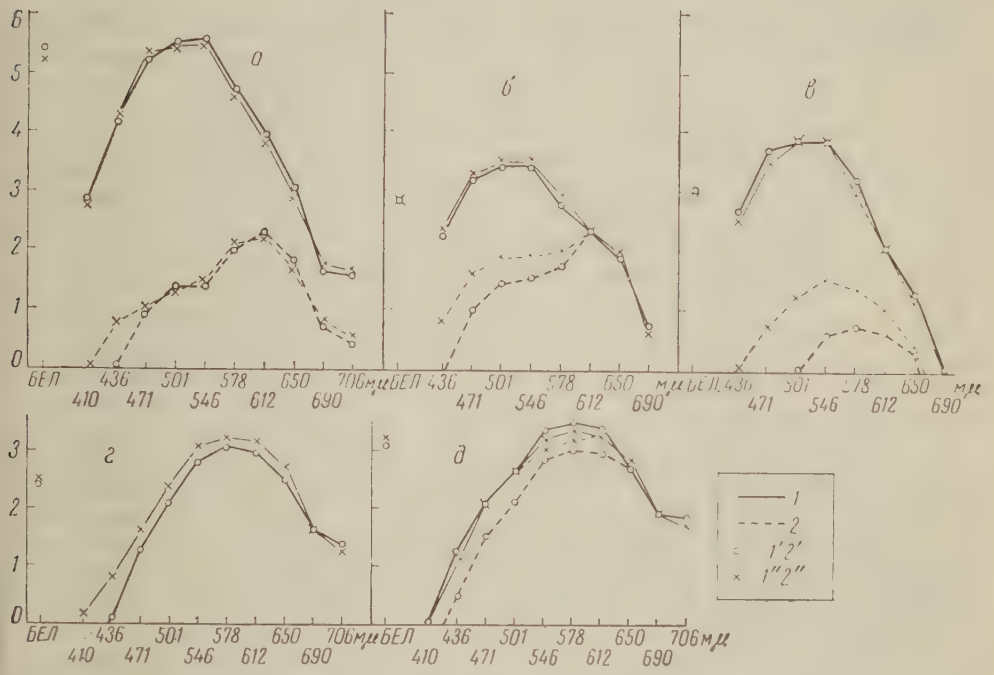


Рис. 1. Кривые спектральной пороговой чувствительности сетчатки (в относительных логарифмических единицах). *а*, *г*, *д* — темноадаптированный глаз, *б* — адаптация к белому свету, *в* — адаптация к 690 мμ. *а*, *б*, *в* — периферия сетчатки, *г*, *д* — центр сетчатки; *1* — световая чувствительность, *2* — цветовая чувствительность; *1′* и *2′* — сантонин, *1″* и *2″* — контроль

Б. Изменения спектральной пороговой чувствительности не обнаруживаются ни в темноадаптированном глазу, ни после предварительной световой адаптации к белому или монохроматическим раздражителям (рис. 1,*б*,*в*).

В. Ход кривой темновой адаптации для световой чувствительности также не отличается от контроля (рис. 2).

Цветовая пороговая чувствительность, в отличие от световой, при действии сантонина испытывает весьма заметные изменения:

А. В темноадаптированном глазу она значительно понижена к испытательному стимулу 436 мμ (в 10 и более раз), несколько менее — к стимулу 471 мμ. При увеличении дозы сантонина понижение цветовой чувствительности распространяется на большую часть спектра. Понижение цветовой чувствительности выражено тем больше, чем ближе испытательный стимул к коротковолновому концу спектра (рис. 1 *а*).

Б. Кривые спектральной цветовой чувствительности, полученные после адаптации к белому или монохроматическим раздражителям, также ниже контрольных. При этом понижение большей частью не ограничивается фиолетовым концом спектра. Однако оно остается наиболее выраженным для коротковолновых стимулов (рис. 1*б*).

В. Особенно резкое, по сравнению с контролем, понижение цветовой чувствительности отмечается после световой адаптации к красному монохроматическому раздражителю (рис. 1*в*).

Как описано нами ранее ([11]), красные адаптирующие раздражители и в контроле резко понижают цветовую чувствительность — тем больше, чем ближе испытательный стимул к длинноволновому концу спектра. В условиях действия сантонина адаптация к красному раздражителю вызывает еще более резкое понижение цветовой чувствительности, причем это дополнительное понижение цветовой чувствительности, обусловленное действием сантонина, и в этом случае больше всего выражено для коротковолновой части спектра.

Таким образом, действие сантонина проявляется в снижении «резистентности цветовой чувствительности» ([12]). При этом наименее резистентной оказывается цветовая чувствительность к коротковолновым стимулам. Последнее находит некоторое подтверждение в контрольных опытах по темновой адаптации (см. пункт Г), а также в некоторых клинических данных.

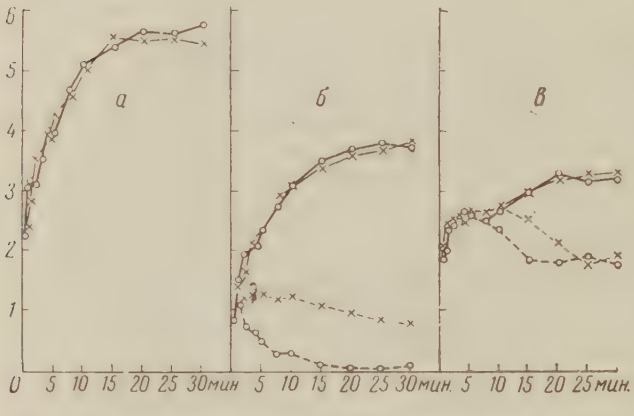


Рис. 2. Кривые темновой адаптации (в относительных логарифмических единицах). *а* — чувствительность к белому свету (поле 5°/15°); *б* — чувствительность к 436 мμ (поле 12°); *в* — чувствительность к 650 мμ (поле 5°/15°). Остальные обозначения те же, что на рис. 1

Г. В контрольных опытах в ходе темновой адаптации наряду с ростом световой чувствительности отмечается понижение цветовой (рис. 2 *б*, *в*), которое более всего выражено для чувствительности к коротковолновым стимулам ([13-15]). В опытах с приемом сантонина при темновой адаптации либо наблюдается более быстрое, чем в контроле, понижение цветовой чувствительности, либо (при больших дозах сантонина) цветовая чувствительность оказывается с самого начала на очень низком уровне и мало изменяется в дальнейшем (рис. 2 *б*, *в*).

Чувствительность центральной ямки

Под действием сантонина чувствительность центральной ямки также испытывает определенные изменения. При этом либо понижается чувствительность без ахроматического интервала (рис. 1 *г*), либо появляется ахроматический интервал. В последнем случае понижается только цветовая чувствительность при неизмененной световой (рис. 1 *д*). Понижение чувствительности может быть распространенным на большую часть спектра. Лишь в одном опыте, наряду с резким понижением цветовой чувствительности, несколько понизилась и световая. В литературе имеются указания, что световая чувствительность центральной ямки и в других отношениях ведет себя иначе, чем на периферии, и напоминает поведение цветовой чувствительности ([12]).

Адаптация к фиолетовому раздражителю

Адаптация к фиолетовому раздражителю (436 мμ), как известно, вызывает отчетливый сдвиг воспринимаемого цветового тока соседних по спектру испытательных стимулов (например, синий 471 мμ кажется зеленым). При сантонинном отравлении, хотя цвет адаптирующего фиолетового раздражителя 436 мμ не ощущается, он вызывает такие же сдвиги цветово-

го тона других испытательных стимулов. Вместе с тем испытательный стимул 436 мμ продолжает оставаться ахроматическим, несмотря на предварительную адаптацию к раздражителю 501 мμ, которая в контроле делает стимул 436 мμ более насыщенным фиолетовым. Следовательно, под влиянием сантонина страдают функции более центрального порядка, чем те, которые обусловливают сдвиг воспринимаемого тона спектральных испытательных стимулов после цветовой адаптации. К тому же, если бы в основе наблюдаемых явлений лежали изменения, имеющие место на периферии зрительного анализатора, процессы адаптации в вышележащих звеньях анализатора их быстро компенсировали.

Следующие данные, полученные в опытах с отравлением сантонином, позволяют высказать суждения о механизмах свето- и цветоощущения и действии на них сантонина:

А. Понижение цветовой чувствительности (или уменьшения ее резистентности) при полностью сохранной световой чувствительности.

Б. Это явление обнаруживается на периферии и в центре сетчатки в состоянии темновой адаптации и адаптации к световым раздражителям.

В. При этом, согласно литературным данным ([3],[9]), острота зрения в центре сетчатки в условиях отравления сантонином не страдает.

Г. Понижение цветовой чувствительности можно обнаружить ко всем испытательным стимулам, но больше — к коротковолновым.

Д. Заслуживают внимания также изложенные выше наблюдения о сдвиге воспринимаемого цветового тона спектральных испытательных стимулов при цветовой адаптации.

Эти данные говорят против представлений: 1) о действии сантонина по типу желтого фильтра ([5],[6]); 2) об избирательном его действии на палочковый аппарат и приписываемую ему функцию цветочувствительности к коротковолновым стимулам ([2]); 3) об угнетении одного из приемников цветочувствительности при сохранности или повышении возбудимости других ([1],[3],[5],[7]). Они заставляют думать о периферическом световоспринимающем приборе и более центральном цветоанализирующем этаже зрительного анализатора. Сантонин поражает в зрительном анализаторе более высокую и тонкую функцию анализа: цветовую чувствительность. При этом в первую очередь и больше всего страдает наименее резистентная ее часть: цветочувствительность к коротковолновой части спектра (к фиолетовому и синему цветам). Представленные данные указывают на несовершенство существующих основных теорий цветового зрения и необходимость исходить из павловского учения об анализаторах и учения Л. А. Орбели об эволюции функций и взаимодействии афферентных систем ([16]).

Автор признателен акад. Л. А. Орбели за ценные советы и благодарит А. М. Алексаняна за порученную тему и руководство работой.

Поступило
28 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] W. Schön, Die Lehre von Gesichtsfeld und seinen Anomalien, Berlin, 1874. [2] V. O. Sivén, Scand. Arch. Physiol., **17**, 306 (1905). [3] М. М. Воинов, Медицинское обозрение, **1**, 375 (1874). [4] А. М. Алексанян, В. А. Погорельский, Реф. научно-иссл. работ (мед.-биол. науки), М., 1947, стр. 123. [5] E. Rose, Virchov's Arch., **19**, 522 (1860); **20**, 245 (1861). [6] A. König, Cbl. prakt. Augenheilk., **12**, 353 (1888). [7] G. Hüfner, Graefe's Arch., **13** (2), 309 (1867). [8] M. Knies, Arch. Augenheilk., **37**, 252 (1898). [9] V. O. Sivén, Wendt, Scand. Arch. Physiol., **14**, 196 (1903). [10] C. L. Vaughan, Zs. Sinnesphysiol., **41**, 399 (1907). [11] А. А. Гюрджиан, ДАН, **107**, № 3, 405 (1956). [12] Л. И. Мкртычева, В. Г. Самсонова, Проблемы физиол. оптики, **6**, 120 (1948). [13] А. А. Гюрджиан, ДАН, **107**, № 4, 537 (1956). [14] Л. М. Курилова, Бюлл. эксп. биол. и мед., **30**, 3 (9), 177 (1950). [15] Н. И. Пинегин, Третье совещ. по физиол. оптике, Изд. АН СССР, 1949, стр. 45. [16] Л. И. Орбели, Вопр. высш. нервн. деят., Изд. АН СССР, 1949.

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИОЛОГИЯ

И. В. СКОРОДУМОВА

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИ ДИЗЕНТЕРИЙНОЙ ИНТОКСИКАЦИИ У ЖИВОТНЫХ РАЗНЫХ ТИПОВ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

(Представлено академиком В. Н. Черниговским 24 IX 1960)

В настоящее время влияние типологических особенностей нервной системы на характер патологических процессов инфекционной природы можно считать твердо установленным ([5,9,10]). В работах Д. Ф. Плецитого с сотр. ([1,2,4,7,9,10]) основное внимание при этом уделялось анализу клинических проявлений заболеваний и изменению различных иммунологических показателей в процессе болезни у животных разных типов нервной системы. Вопрос же об отражении типологических особенностей нервной системы в структурных поражениях при инфекционных заболеваниях остается до сих пор еще почти совершенно неизученным. Только в работах Л. П. Горшуновой, Д. П. Капустник и Л. И. Крячко была сделана попытка охарактеризовать особенности течения патологического процесса у животных — представителей разных типов нервной системы — с точки зрения своеобразия ряда морфологических изменений ([1,3,6]).

Задачей настоящей работы было изучение резистентности животных разных типов нервной системы к дизентерийной интоксикации и сопоставление морфологических поражений, развивающихся у них при этом патологическом процессе. Исследование было выполнено на 25 животных (белых крысах), у которых изучалась условнорефлекторная деятельность по методике Л. И. Котляревского. Определение типологических особенностей нервной системы животных производилось А. М. Монаенковым.

Всем животным одновременно вводился внутримышечно раствор полного антигена Гисс-Флекснера и проводилось тщательное наблюдение за состоянием животных, сроками их гибели и интенсивностью видимых поражений внутренних органов. Смертность животных представителей разных типов нервной системы была примерно одинаковой, однако наиболее быстро смертельный исход наступал у крыс сильного уравновешенного типа нервной системы. Смертельная дизентерийная интоксикация у крыс слабого типа развивалась несколько медленнее, чем у представителей двух других типов.

Для гистологического исследования у всех погибших животных брались внутренние органы: печень, селезенка, кишечник, брыжеечные лимфатические узлы, почки, надпочечники и легкие, а также головной и спинной мозг, которые фиксировались по Буэну и заливались в парафин. Срезы окрашивались гематоксилин-эозином, по методу Ниссля и по методу Мак-Мануса.

Было установлено, что изменения во внутренних органах у погибших животных, независимо от типа их нервной системы, характеризуются одним общим признаком интоксикации — полнокровием органов. У всех животных наблюдалась принципиально одинаковая сосудистая реакция. Однако степень выраженности этой реакции, а также ее последствия у животных различных типов были разными. Наибольшие различия в картинах поражения наблю-

дались в селезенке, лимфатических узлах и лимфатических фолликулах кишечника, а также в центральной нервной системе.

Морфология почек, надпочечников, легких и слизистой кишечника не представляет резких различий в зависимости от типа нервной системы животного. Изменения этих органов в основном сводятся к полнокровию, граничащему со стазом, с сопутствующими отеком и кровоизлияниями в паренхиму органов.

У большинства животных сильного уравновешенного типа нервной системы наибольшие изменения обнаруживаются в печени. Чаще всего — это белковая, иногда жировая дистрофия печеночных клеток, сопровождающаяся пикнозом ядер с усилением их хроматофильности.

Гистологическое исследование селезенки крыс этого типа показывает картину значительного острого полнокровия. Наряду с расширением и переполнением кровью вен и капилляров наблюдается инъецирование эритроцитами пульпы. Происходит коагглютинация эритроцитов и вымывание из них гемоглобина. У некоторых животных наряду с гиперемией развиваются пролиферативные процессы, заключающиеся в преимущественном размножении ретикулярных и эндотелиальных элементов пульпы. Последние освобождаются из синтициального комплекса и становятся свободными. По своей функции — это макрофаги; цитоплазма их, как правило, заполнена гемосидерином. Дальнейшей дифференцировки пролиферирующего ретикуло-эндотелия у животных данного типа не происходит. Фолликулы уменьшены.

Брыжеечные лимфатические узлы резко увеличены за счет отека стромы, расширения синусов и полнокровия. В некоторых случаях в лимфоидной ткани и в синусах их видны кровоизлияния. В целом количество лимфоцитов снижено. По ходу трабекул происходит отложение гемосидерина и отмечается наличие больших макрофагов с зернами кровяного пигмента. Лимфатические фолликулы кишечника увеличены, в центрах их отмечаются некротические формы лимфобластов.

Гистологическая картина печени крыс сильного возбудимого типа нервной системы не представляет каких-либо отклонений, характерных для интоксикации, основным признаком которой является резкое кровенаполнение органа. Дистрофические изменения в клетках печени отмечаются у единичных животных. Более значительные изменения у животных этой группы наблюдаются со стороны лимфоидного аппарата. Лимфатические узлы увеличиваются в размере за счет гиперплазии всех элементов, происходит стирание рисунка строения лимфатического узла. Размножение ретикуло-эндотелиальных клеток сопровождается расширением краевых и интермедиарных синусов, просветы которых выполнены округлившимися десквамированными клетками ретикуло-эндотелия. В центрах фолликулов лимфатических узлов и фолликулов кишечника наряду с гиперплазией наблюдается некроз и распад лимфобластических элементов.

В селезенке отмечается некоторая аплазия лимфатических фолликулов и увеличение площади, занимаемой красной пульпой, иногда с резким расширением венозных синусов, заполненных свежими эритроцитами. У большинства животных наблюдается реактивное размножение ретикуло-эндотелиальных клеток с образованием гигантских многоядерных клеточных форм, представляющих собой симпласты с неконтурируемой оболочкой цитоплазмой, образующей многочисленные выросты. Множество ядер в этой слегка базофильной цитоплазме собрано в кучки. Ядра светлые, пузырьковидные. Амитотическое деление ядер создает впечатление многолопастного огромного ядра (рис. 1).

Изменения, претерпеваемые селезенкой животных слабого типа нервной системы, также в основном можно охарактеризовать как гиперпластические. Однако у этих животных гиперплазия в равной мере захватывает как лимфатический аппарат, так и пульпу селезенки. Гиперплазия фолликулов сопровождается образованием светлых «центров размножения». В пульпе

же появляется много крупных округлых клеток, в цитоплазме которых обнаруживается гемосидерин, эритроциты, лимфоциты и частицы их распада. Дифференцировка размножающегося ретикуло-эндотелия столь значительна, что происходит развитие в пульпе очагов миэлоидной ткани. В таких местах в пульпе обнаруживаются типичные миэлобласты и эозинофильные миэлоциты (рис. 2).

Лимфатические узлы несколько увеличены за счет отека, хотя число лимфатических элементов уменьшено, так как налицо аплазия лимфатических фолликулов и снижение количества лимфоцитов в них (процесс вымывания). Центры размножения расширены, но «пусты»; среди лимфобластов располагается большое количество крупных макрофагов, содержащих в цитоплазме хроматиновые глыбки. В мякотных шнурах происходит замена лимфатических клеток клетками гистиоцитарного ряда. Видны различные переходные формы от лимфоцитов и гистиоцитов до дифференцированных плазматических клеток и продуктов гиалиноза последних — телец Русселя.

Гистологическое исследование головного, продолговатого и спинного мозга животных разных типов нервной системы при дизентерийной интоксикации показывает, что наиболее распространенные поражения, захватывающие кору (area praecentralis), гипоталамическую область и ядра продолговатого мозга, наблюдаются у животных сильного уравновешенного типа нервной системы. Наибольшей глубины и силы гидропические изменения достигают в продолговатом мозге, где особенно сильно оказываются пораженными ядра ретикулярной формации. Здесь можно видеть различные стадии вакуолизации нервных клеток — от «пенистых» клеток до громадных множественных вакуоль тела и отростков (рис. 3 и 4). Изменения нервных клеток спинного мозга незначительны и характеризуются главным образом некоторым сморщиванием тела клетки.

Те же самые области коры, промежуточного мозга поражаются и у животных возбудимого типа нервной системы, однако степень этого поражения у них значительно слабее. В ядрах продолговатого мозга и моста наряду с поражением клеток ретикулярной формации, характеризующимся, главным образом, сморщиванием и гиперхромностью клеточных тел, отмечается значительная вакуолизация (дорсальное ядро nucleus n. VIII и nucleus Deiters).

У крыс слабого типа нервной системы изменений нервных клеток коры не отмечалось. Ни в одном случае в субталамической области не было и вакуолизированных клеток. Преимущественной формой поражения клеток этой области является сморщивание и образование гиперхромных клеточных тел. Однако изменения в ядрах продолговатого мозга очень значительны. Во всех случаях имелось множественное поражение мультиполярных клеток (срезы приходятся на уровень моторного ядра тройничного нерва), которые подвергаются гидропическому перерождению.

Анализ результатов гистологического исследования показывает, что наибольшее число отделов мозга поражено у крыс уравновешенного типа, промежуточное положение занимают крысы возбудимого типа. Относительно менее пораженными оказываются крысы слабого типа. Однако степень выраженности гидропического перерождения нервных клеток в продолговатом мозге у всех животных является при этом примерно одинаковой.

Сопоставление изменений, выявленных при гистологическом исследовании, позволяет говорить о различии морфологических картин дизентерийной интоксикации у животных разных типов нервной системы, особенно отчетливо проявляющейся при рассмотрении органов РЭС. Морфологические изменения у крыс сильного уравновешенного типа нервной системы могут быть охарактеризованы термином «острая интоксикация»; животные возбудимого типа занимали промежуточное положение, еще более вялое «хроническое» течение приобретала интоксикация у животных слабого типа. Ведущими для животных сильного уравновешенного типа нервной системы являются кровоизлияния в селезенке и лимфатических узлах и поражение печени.

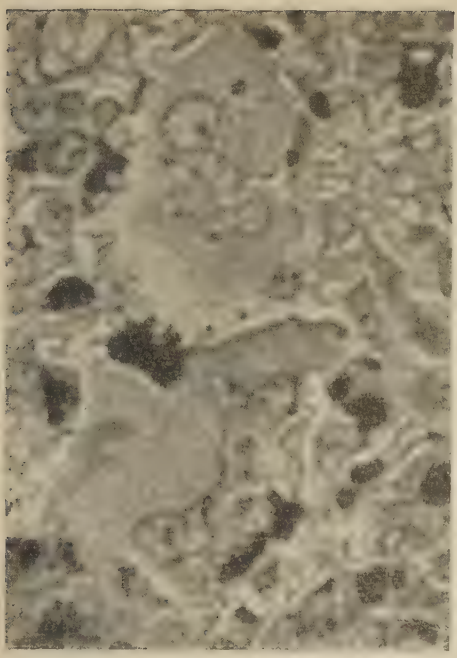


Рис. 1. Гигантские многоядерные ретикуло-эндотелиальные клетки в красной пульпе селезенки. Прямое деление ядер в гигантской многоядерной клетке. Крыса № 65. Сильный возбудимый тип нервной системы. Окраска гематоксилин-эозином. Ок. 6, об. 95×

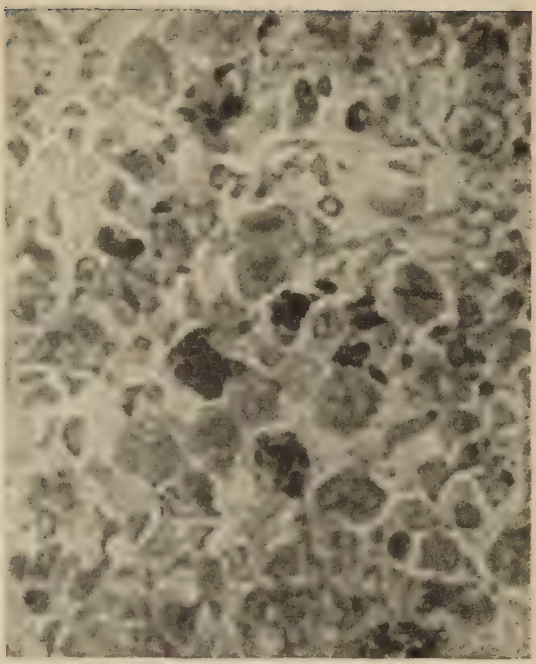


Рис. 2. Очаг миэлоидного кровотворения в пульпе селезенки. Эозинофильные миэлоциты. Крыса № 39. Слабый тип нервной системы. Окраска гематоксилин-эозином. Ок. 6, об. 95×

ис. 3. Сморщивание и пенистость нервных леток. Крыса № 55. Сильный уравновешанный тип нервной системы. Окраска по методу Ниссля. Ок. 6, об. 95×

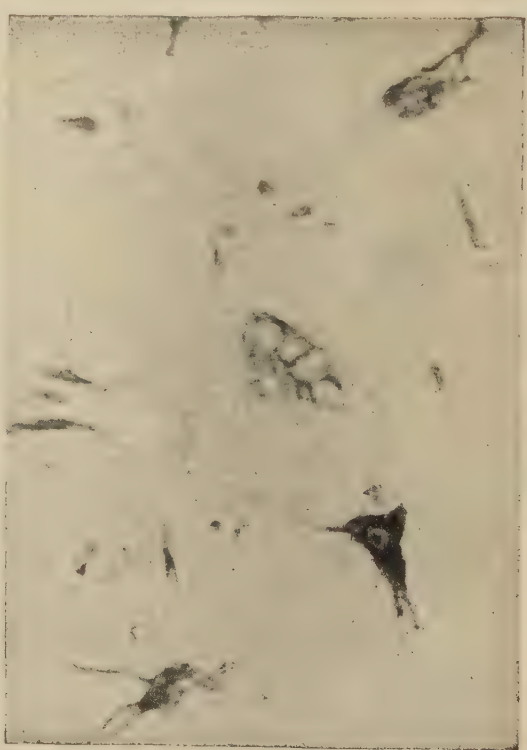


Рис. 4. Гидропические изменения (вакуолизация) нервных клеток и их отростков. Крыса № 55. Сильный уравновешанный тип нервной системы. Окраска по методу Ниссля. Ок. 6, об. 50×

Характерной особенностью изменений, наблюдаемых у животных возбудимого типа, было наличие инфекционной гиперплазии селезенки и дифференцировка реактивно размножающегося ретикуло-эндотелия в многоядерные симпласты.

Таким образом, представленные материалы свидетельствуют о том, что различие в морфологических картинах поражений внутренних органов и нервной системы у животных разных типов высшей нервной деятельности зависит в известной степени от специфической для представителей каждого типа формы реагирования на однотипный раздражитель. В этом различии мы видим один из конкретных примеров включения разных компенсаторных механизмов у животных — носителей черт того или иного типа нервной системы в процессе развития заболевания, хотя конечный результат патологического процесса и оказывается часто одинаковым для всех животных, не зависимо от типологических особенностей их нервной системы.

Институт нормальной и патологической физиологии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
21 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Л. П. Горшунова, Реф. докл. конфер. по вопросу о роли типа нервной системы в обмен., компенсат. и восстановительных реакциях организма, Киев, 1959. [2] В. А. Евсеев, Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 7, 90 (1957). [3] Д. П. Капустник, Г. В. Пешковский, Журн. высш. нерв. деят., 2, в. 4, 221 (1954). [4] В. А. Кацитадзе, Реф. докл. конфер. по вопросу о роли типа нервной сист. в обмен., компенсат. и восстановит. реакциях организма, Киев, 1959. [5] Л. И. Котляревский, Тр. Инст. высш. нервн. деят. им. Павлова АН СССР, 3, М., 1957, стр. 161. [6] Л. И. Крячко, Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 6, 74 (1956). [7] А. М. Монаенков, Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 11, 107 (1954). [8] Г. В. Пешковский, Уч. зап. Горьковск. мед. инст., в. 6, 48 (1958). [9] Д. Ф. Плецитый, Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол., № 11, 47 (1957). [10] Д. Ф. Плецитий, Фізіол. журн. АН УРСР, 6, № 3, 293 (1960).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ФИЗИОЛОГИЯ

В. Л. ЦАТУРОВ

РЕАКЦИЯ СОСУДОВ СКЕЛЕТНОЙ МУСКУЛАТУРЫ И ТОНКОГО КИШЕЧНИКА ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ ПРЕССОРНОГО ОТДЕЛА БУЛЬБАРНОГО ВАЗОМОТОРНОГО ЦЕНТРА

(Представлено академиком В. Н. Черниговским 22 IX 1960)

В предыдущем исследовании ([1]) было показано, что тормозная фаза рефлексов сосудов скелетных мышц, развивающаяся при электрическом раздражении афферентных волокон соматических нервов ([2,3]) и интероцепторов ([4]), обусловлена структурами прессорного отдела бульбарного вазомоторного центра (ВМЦ).

В настоящей работе это положение было подвергнуто проверке путем сопоставления реакций сосудов задней конечности и тонкого кишечника, возникающих при раздражении отдельных участков ВМЦ.

Методика. У кошек, наркотизированных уретаном (1 г/кг) и хлоралозой (0,03 г/кг) параллельно регистрировали реакции сосудов левой задней конечности и тонкого кишечника, используя методику резистографии.

Сосуды конечности и тонкого кишечника перфузировали собственной кровью животного при помощи насоса ([5]), поддерживающего минутный расход крови на постоянном уровне. В этом случае давление, развивающееся, например, в бедренной артерии, определяется объемом нагнетаемой крови и гидравлическим сопротивлением сосудов конечности. Сужение или расширение сосудов приводит соответственно к повышению или понижению перфузионного давления. Изменение уровня последнего отражает направление и степень изменений сопротивления сосудов. Свертывание крови предотвращали внутривенным введением 7,5—10 мг гепарина. Артериальное давление регистрировали ртутным манометром из сонной артерии, дыхание — через трахеальную канюлю капсулой Марея.

Раздражение структур бульбарного ВМЦ осуществляли монополярным стальным микроэлектродом (диаметр острия 5—7 μ), ориентировавшимся стереотаксическим прибором Хорсли — Кларка. Индифферентный электрод укреплялся на мышцах шеи животного.

Продолговатый мозг обнажали с вентральной стороны, вскрывая для этого полость черепа путем удаления части основной кости. Голову животного фиксировали в стереотаксическом приборе вентральной стороной кверху таким образом, чтобы центры ушных отверстий и нижние края глазных орбит располагались в горизонтальной плоскости, перпендикулярной к оси электрода. Отправной точкой для ориентировки микроэлектрода во всех опытах служило слепое отверстие, расположенное по средней линии на границе моста и продолговатого мозга.

Раздражение прессорного отдела ВМЦ в большей части опытов осуществлялось от генератора прямоугольных импульсов. В ряде опытов для раздражения применялся переменный ток частотой 50 герц.

Всего проведено 22 опыта.

Результаты. Раздражение ростральной части продолговатого мозга в области медиальной ретикулярной формации вызывало в наших опытах повышение артериального давления (рис. 1), что подтверждает хорошо известные данные предшествующих исследований ([6-8]). Как следует из резистограмм (рис. 1—3), эта гипертензивная реакция развивается одновременно с сужением сосудов тонкого кишечника и скелетных мышц.

Относительная степень сужения сосудов тонкого кишечника и задней конечности зависит как от положения микроэлектрода, т. е. от локализации раздражаемой «точки», так и от параметров раздражающих импульсов. Так, при положении электрода на глубине 2,25 и 2,5 мм (рис. 1*б*, *в*) от вентральной поверхности, в области слепого отверстия, степень сужения сосудов обоих исследованных органов была примерно одной и той же. При раздражении «точки», расположенной на глубине 3,5 мм, каудальнее уровня слепого отверстия на 0,8 мм и влево от средней линии на 0,5 мм (рис. 2 *б*), сопротивление сосудов кишечника увеличивалось на 140%, а сосудов конечности — на 38%. При раздражении «точки», расположенной на глубине 2 мм, ниже уровня слепого отверстия на 0,8 мм и вправо от средней линии на 1,8 мм (рис. 2 *в*) сопротивление сосудов тонкого кишечника возросло на 70%, а сосудов конечности только на 7%.

Рис. 1. Реакции сосудов тонкого кишечника и конечности при раздражении прессорного отдела ВМЦ в области слепого отверстия. Сверху вниз: перфузионное давление сосудов левой задней конечности, перфузионное давление сосудов тонкого кишечника, артериальное давление, дыхание, отметка раздражения и отметка времени. *а*— область слепого отверстия, на глубине (*h*) 2 мм от вентральной поверхности продолговатого мозга; *б*—там же, $h = 2{,}25$ мм, *в*—там же, $h = 2{,}5$ мм; *г*—влево от средней линии на 1 мм, на уровне слепого отверстия, $h = 3$ мм; *д* — там же, $h = 3{,}5$ мм

О достаточно высокой избирательности раздражения в наших опытах свидетельствуют записи, приведенные на рис. 2 *г*, *д*. Раздражение «точки», расположенной на глубине 3 мм от вентральной поверхности продолговатого мозга, на уровне слепого отверстия, влево от средней линии на 1 мм, не сопровождалось заметными реакциями артериального давления сосудов тонкого кишечника и конечности. Раздражение же «точки», расположенной на 500 μ дорсальнее от указанной, вызвало значительные реакции сосудов обоих органов и артериального давления.

Наряду с этими количественными отличиями реакции сосудов кишечника и конечности, возникающие при раздражении ростально-медиальных участков ретикулярной формации, отличаются и качественно. Как видно из рис. 1 *а*, *в*, *д* и 2 *б*, *в*, раздражение указанной области ретикулярной формации приводит к развитию последовательного торможения «тонуса» сосудов скелетных мышц: вслед за начальным сужением сосудов развивается их расширение. Сосуды тонкого кишечника (те же рисунки) реагируют только сужением,.

Как уже было отмечено, точно такое же различие между реакциями сосудов тонкого кишечника и скелетных мышц наблюдается при самых разнообразных рефлекторных раздражениях.

Опытам с электрическим раздражением структур центральной нервной системы присущ определенный недостаток, связанный с тем, что электрический ток может раздражать как нервные волокна, так и нервные клетки. Однако для основной задачи предпринятого исследования указанный недостаток не имеет принципиального значения. Действительно, независимо от того, раздражались ли в наших опытах клетки вазомоторного центра, аф-

ферентные волокна или волокна, идущие от супрабульбарных структур,— эти опыты показывают, что активация прессорной части ВМЦ достаточна для развития двухфазной реакции сосудов скелетных мышц.

Последовательное торможение, наступающее при рефлекторных раздражениях, не изменяется после децеребрации, но, вместе с тем, и не возникает при раздражении нисходящих вазомоторных путей спинного мозга ([1]). Следовательно, оно может обусловливаться только прекращением «тонической импульсации», генерируемой в прессорном отделе ВМЦ. Из приведенных опытов следует, что аналогичный эффект возникает не только при рефлекторном, но и при прямом раздражении прессорного отдела ВМЦ.

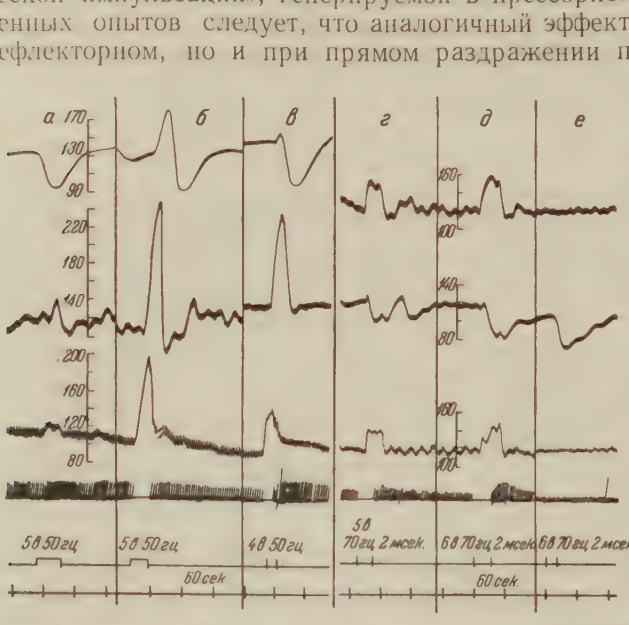


Рис. 2. Реакция сосудов тонкого кишечника и задней конечности при раздражении прессорного отдела ВМЦ. Порядок записи тот же, что на рис. 1. *а* — влево от средней линии на 0,5 мм, каудальнее уровня слепого отверстия на 0,8 мм, $h = 2$ мм; *б* — там же, $h = 3{,}5$ мм; *в* — вправо от средней линии на 1,8 мм, ниже уровня слепого отверстия на 0,8 мм, $h = 2$ мм; *г* — вправо от средней линии на 1,2 мм, на уровне слепого отверстия, $h = 6$ мм; *д* — там же (повторное раздражение); *е* — влево от средней линии на 1,3 мм, ниже уровня слепого отверстия на 2,7 мм, $h = 2{,}5$ мм

Из этого, в свою очередь, вытекает, что в данном отделе имеются какие-то элементы, способные тормозить «тоническую импульсацию» некоторой части его клеток, связанных с сосудами скелетной мускулатуры. Косвенным подтверждением этого могут служить реципрокные изменения сопротивления сосудов тонкого кишечника и конечности, наблюдавшиеся в некоторой части наших опытов.

Раздражение одной и той же «точки» в прессорном отделе ВМЦ вызывает расширение сосудов скелетных мышц и сужение сосудов кишечника (рис. 2 *а*, *г*, *д*). Сужение висцеральных сосудов оказывалось, по-видимому, гемодинамически преобладающим, так как артериальное давление в этих случаях повышалось, несмотря на расширение сосудов конечностей.

Мы специально подчеркиваем это обстоятельство, так как оно свидетельствует о весьма сложной структуре так называемого прессорного отдела ВМЦ. Действительно, хотя по реакции артериального давления данная «точка» и может быть отнесена к «прессорной», на самом же деле раздражение этой точки может вызывать торможение части нейронов ВМЦ, связанных с сосудами скелетных мышц. Неравноценность «точек» ВМЦ в отношении их влияния на сосуды отдельных органов подчеркивается и тем обстоятельством, что раздражение данной «точки» приводит к неодинаковым как по величине, так и по характеру реакциям сосудов этих органов.

Интересно отметить, что в двух опытах наблюдалось расширение сосудов задней конечности при стимуляции «точек», неэффективных в отношении сосудов тонкого кишечника и артериального давления (рис. 2 *е*).

Раздражение участков ВМЦ, расположенных в каудальной части продолговатого мозга, приводит к результатам, отличающимся от уже описанных выше (рис. 3).

Судя по реакциям (рис. 3 *I*, *II*) артериального давления, возникающим

при раздражении некоторых «точек» на глубине около 1 мм от вентральной поверхности продолговатого мозга (т. е. тотчас же под пирамидным трактом), эту область также можно было бы отнести к прессорному отделу ВМЦ. Однако раздражение указанных «точек» не приводит к возникновению последовательного торможения в реакциях сосудов скелетных мышц (рис. 3 *I*, *II*). Это обстоятельство напоминает реакции, которые были получены нами при раздражении нисходящих вазомоторных путей спинного мозга. Можно полагать, что и в этом случае раздражению подвергались нисходящие вазомоторные пути. Во всяком случае, это наблюдение подчеркивает, что ответственным за последовательное торможение реакций сосудов скелетной мускулатуры является прессорный отдел ВМЦ или, точнее, его часть, расположенная в ростро-медиальном отделе ретикулярной формации.

Обнаруженные вазоконстрикторные «точки» под пирамидным трактом непосредственно прилегают к депрессорному отделу ВМЦ. Дальнейшее погружение электрода приводит к постепенной смене знака реакций. На глубине 1,75—5 мм от вентральной поверхности раздражение вызывает классические депрессорные эффекты, которые, как показывают резистограммы, связаны с расширением сосудов скелетных мышц и тонкого кишечника (рис. 3 *II*—*VI*).

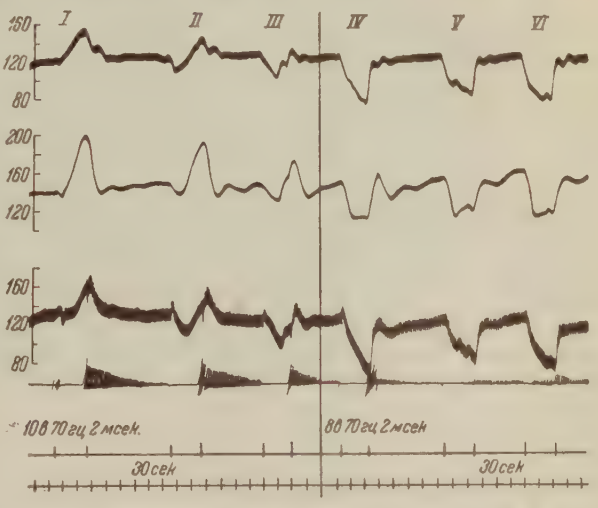


Рис. 3. Реакции сосудов тонкого кишечника и конечности при раздражении депрессорного отдела ВМЦ и прилежащих к этому отделу структур. Порядок записи тот же, что на рис. 1. Электроды по средней линии, каудально от уровня слепого отверстия на 9,4 мм. *I* — h = 1 мм; *II* — h = 1,5 мм; *III* — h = 2 мм; *IV* — h = 2,5 мм; *V* — h = 3 мм; *VI* — h = 3,5 мм

В отличие от эффектов раздражения прессорного отдела ВМЦ, некоторое изменение положения микроэлектрода или изменение параметров раздражающих импульсов приводит к равномерному изменению величины дилятаторных реакций обоих органов. Это хорошо согласуется с данными Оберхольцера и др. ([9],[10]), согласно которым так называемый депрессорный отдел ВМЦ представляет центральное звено дуги синокаротидных и аортальных рефлексогенных зон.

Проведенные опыты приводят к выводу о сложной структуре прессорного отдела ВМЦ, где наряду с элементами, вызывающими возбуждение преганглинарных вазоконстрикторных нейтронов, имеются и другие элементы, способные вызывать торможение вазоконстрикторных нейтронов, связанных с сосудами скелетной мускулатуры.

Институт нормальной и патологической физиологии
Академии медицинских наук СССР

Поступило
21 IX 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. Л. Цатуров, ДАН, **136**, № 2 (1960). [2] В. М. Хаютин, В. Л. Цатуров, Бюлл. эксп. биол. и мед., **47**, № 2, 17 (1959). [3] В. М. Хаютин, В. Л. Цатуров, Бюлл. эксп. биол. и мед., **47**, № 3,16 (1959). [4] В. Л. Цатуров, Бюлл. эксп. биол и мед., **47**, № 9 (1959). [5] В. М. Хаютин, В. М. Данчаков, В. Л. Цатуров, Бюлл. эксп. биол. и мед., **45**, № 2, 117 (1958). [6] R. S. Alexander, J. Neurophysiol., **9**, 205 (1946). [7] L. M. N. Bach, Am. J. Physiol., **171**, 417 (1952). [8] S. C. Wang, S. W. Ranson, J. Comp. Neurol., **71**, 457 (1939). [9] R. Oberholzer, Klin. Wochenschr., H. 9, 449 (1957). [10] P. Lindgren, B. Uvnüs, Am. J. Physiol., **176**, 68 (1954).

Доклады Академии наук СССР
1961. Том 137, № 2

ЭМБРИОЛОГИЯ

А. Л. ПАДУЧЕВА

ИЗУЧЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ МЕЧЕНОЙ СЕРЫ РОСТА ШЕРСТИ У ЯГНЯТ В УТРОБНОМ ПЕРИОДЕ И ПОСЛЕ РОЖДЕНИЯ

(Представлено академиком А. И. Опариным 18 X 1960)

Исследования роста шерсти в утробном периоде проводятся обычно путем извлечения плодов из организма матери в разные сроки после начала беременности. При таком способе изучение динамики роста шерсти у одного и того же животного практически невозможно.

С помощью введения овцам во время беременности ряда меченых серусодержащих соединений нам удалось показать, что сера этих соединений используется для синтеза кератина шерсти у плода и образует в формирующемся стержне волоса метку, сохраняющуюся после рождения ([1]). Таким образом представляется возможность, не нарушая беременности, исследовать в утробном периоде использование различных серусодержащих соединений для роста шерсти. Наряду с этим предложенный метод позволяет определять скорость роста волос у одного и того же плода в различные периоды эмбрионального развития, а также индивидуальные особенности роста отдельных волос.

I серия опытов проведена в 1956 г. на трех курдючных овцах, каждая из которых получила за 7—10 дней до окота меченый по сере сульфат, сульфид натрия или метионин (по 0,5 м Cu). У 3 ягнят, родившихся у этих овец, при радиоавтографическом исследовании шерсти было обнаружено отложение меченой серы, наиболее интенсивное при даче метионина.

II серия опытов проведена в 1957 г. на двух романовских овцах. Овца № 1, окотившаяся 19 V, получила 25 III (за 55 дней до окота) метионин (0,5 м Cu), 7 IV (за 42 дня) тиамин (1,0 м Cu), 16 V (за 3 дня) сульфидин (2,0 м Cu). Через 19 дней после окота ей был дан метионин (0,5 м Cu), через 56 дней сульфат бария (1,0 м Cu). В случае дачи метионина метки на шерсти были длинные и плотные, при даче сульфидина, тиамина и сернокислого бария короткие и слабые.

Родившаяся 19 V ярка получила 2 VI (через 14 дней) сульфидин (1,0 м Cu). При исследовании проб шерсти ягненка, взятой после рождения, в волосах было обнаружено по одной метке утробного происхождения от сульфидина, данного овце за 3 дня до окота. Она имела такую же форму и плотность, как у матери. След от тиамина, данного за 42 дня до окота, у ягненка обнаруживался на некоторых волосах не полностью, тем более не образовалось следа от введенного еще ранее метионина и, следовательно, стержни волос начали формироваться около 7 IV, приблизительно за 42—40 дней до рождения (рис. 1).

На длинной шерсти, взятой в октябре с шеи ягненка, помимо утробного следа было три метки, образованных после рождения: одна короткая от сульфидина, данного ягненку 2 VI, вторая, очень плотная, удлиненная, от метионина, перешедшего ягненку с молоком от матери, и третья, короткая и слабая — от сульфата бария. В более короткой шерсти с бока обнаружено много волос, не имеющих ни утробной метки, ни первой внеутробной, т. е.

появившихся после 2 VI. Это связано с тем, что у романовских ягнят после рождения происходит смена черного эмбрионального шерстного покрова на серый, типичный для взрослых овец ([2]).

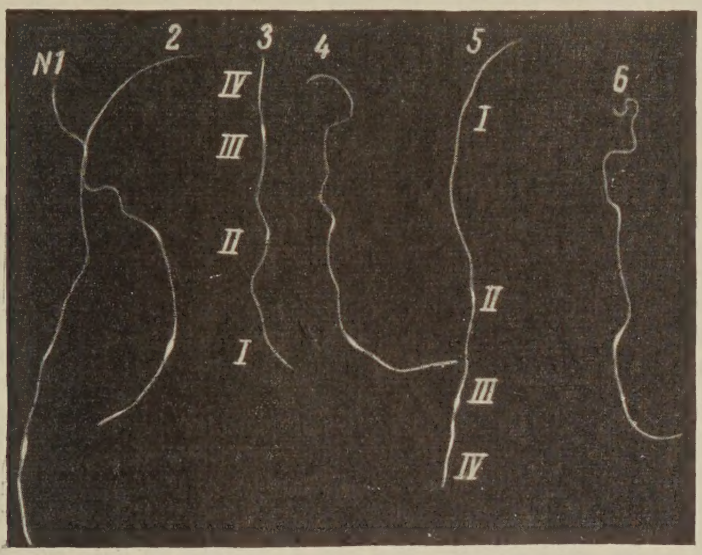


Рис. 1. Волосы романовской ярки. Родилась 19 V. Проба волос взята 20 VI. След *I* — утробный, от тиамина, данного матери 7 IV; след *II* — утробный, от сульфидина, данного матери 16 V; след *III*—внеутробный, от сульфидина, данного ягненку 2 VI; след *IV* — внеутробный, от метионича, данного матери 7 VI, перешедшего к ягненку с молоком. Волосы №№ 1, 3, 4, 6 — без начала следа, образовались после 7 IV, волосы №№ 2 и 5 появились перед введением тиамина

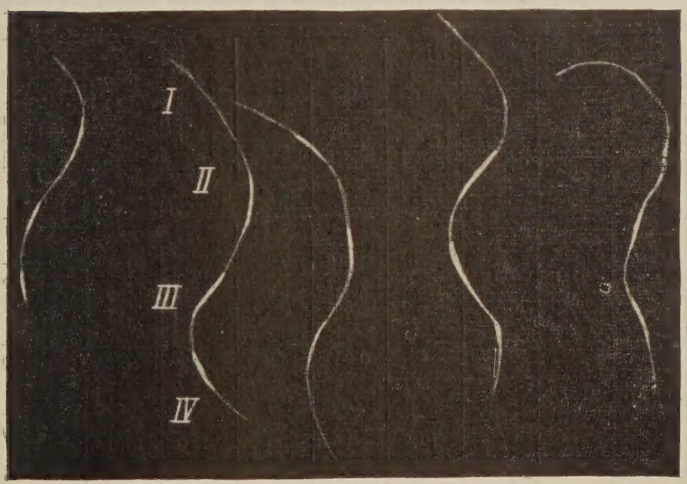


Рис. 2. Волосы каракульской ярки. Родилась 14 IV. Волосы взяты 20 IV. След *I* — утробный, от $Na_2S^{35}O_4$, данного матери 5 III; след *II* — утробный от метионина, данного матери 25 III; след *III* — утробный от тиомочевины, данной матери 6 IV; след *IV* — внеутробный, от метионина, данного ярке при рождении 14 IV

Родившиеся 7 VI у овцы № 2 баранчики-двойни получили при рождении: № 1 — тиамин (1,0 м Cu), 27 VIII $BaS^{35}O_4$ (3,5 м Cu), 9 IX цистин (2,0 м Cu). Ягненок № 2 получил при рождении сульфидин (1,0 м Cu), 27 VIII

метионин (1,0 м Cu), 9 IX $Na_2S^{35}O_4$ (2,0 м Cu). Овца № 2 получила во время лактации 17 VI тиамин (1,0 м Cu).

При даче ягнятам тиамина и сульфидина в первый день жизни метка в волосах радиоавтографически не обнаружена (экспозиция 1 мес.). Тиамин, данный матери, вызвал образование в шерсти у матери и у подсосных ягнят одинаковых слабых коротких следов. При даче ягненку № 1 сульфата бария и цистина, а ягненку № 2 метионина и сульфата 27 VIII и 9 IX метки образовывались обычным образом.

III серия опытов была проведена в 1959 г. на двух каракульских, двух тонкорунных и одной курдючной матке. Эти овцы получали препараты, содержащие S^{35}, несколько раз на протяжении суягности. В шерсти родившихся ягнят обнаружено по две или три метки, в зависимости от числа доз препаратов с меченой серой, введенных после начала появления волосяного покрова (рис. 2).

Интенсивность первой метки, от сульфата натрия, у всех ягнят была заметно ниже, чем от метионина, введенного в меньшей дозе, или от тиомочевины. По визуальной оценке плотность меток на волосах у плода и у матери одинакова.

Первая метка, от 5 III, располагалась на самой верхушке волоса. Иногда над ней обнаруживался короткий кончик, заметный по слабой радиоактивности, вызванной включением остаточных радиоактивных продуктов межуточного обмена от предшествовавших введений овцам S^{35}. Судя по длине (около 1 мм) и начальной скорости роста волоса (табл. 1), первая метка появлялась через 0—3 дня после введения меченой серы, т. е. за 40—43 дня до рождения. Аналогичные данные известны по результатам сериальных вскрытий овец разного срока суягности и измерения шерсти у плодов, извлеченных из матки ([3]).

Таблица 1

Время появления и скорость роста эмбрионального волосяного покрова у овец (исследования с применением меченой серы)

Ягненок	Дата рождения	Дата введения S^{35}	Дата взятия пробы волоса	Срок введения дней: до (—) или после (+) рождения	Длина волоса до метки (мм)	Длина метки (мм)	Длительность формирования метки (дней)	Скорость роста волоса за время образования метки (мм/день)	Время появления волоса
Каракульская ярка	14 IV	5 III		—40		66	20	0,33	За 43—40 дней до рождения
		25 III	20 IV	—20		45	12	0,38	
		6 IV		—8	0—1	46	8	0,57	
		14 IV		0		53	6	0,88	
Каракульский баранчик	14 IV	5 III		—40		60	20	0,30	За 43—40 дней до рождения
		25 III	20 IV	—20	0—1	64	20	0,32	
		14 IV		0		41	6	0,68	
Курдючный баранчик	5 IV	5 III		—31		120	20	0,60	За 34—39 дней до рождения
		25 III	20 IV	—11	2—4	80	12	0,67	
		6 IV		+1		122	14	0,87	
Тонкорунная ярка:	17 IV								
грубые волосы на боку («песига») —		5 III		—43		100	20	0,50	
		25 III	20 IV	—23	0	79	12	0,66	За 43 дня до рождения
		6 IV		—11		102	14	0,73	
грубые волосы на голове		5 III		—43		150	20	0,75	За 45—47 дней до рождения; 3-я метка не образовалась, волос перестал расти
		25 III	20 IV	—23	2—3	90	12	0,75	
		6 IV		—11		метки нет		—	
Романовская ярка	19 V	7 IV	14 VI	—42		230	39	0,59	За 42 дня до рождения
		16 V		—3	0	139	17	0,82	
		2 VI		+14		96	12	0,80	
Романовский баранчик	7 VI	7 VI	27 VIII	0	не измерена	68	9	0,76	Определена скорость роста волос только после рождения
		16 VI		+9		554	72	0,77	

У ягнят, так же как это описано нами для взрослых овец ([4],[5]), по расстоянию между метками можно вычислить скорость роста волоса в различные периоды утробного развития шерстного покрова.

Измерения длины меток ясно показали различия в скорости роста в зависимости от породы овец и характера строения волоса. Наибольшей скоростью роста отличалась шерсть курдючных и романовских ягнят, а также грубый остевой волос у тонкорунных ягнят. У каракульских ягнят рост шерсти в эмбриональном периоде был наиболее медленным. Различия в длине шерсти ягнят при рождении обусловлены, в основном, скоростью их роста, а не временем появления шерстного покрова.

Скорость роста шерсти наименьшая в начале образования стержня волоса, затем рост ускоряется и достигает наибольшей величины после рождения, в период молочного питания (табл. 1).

Синхронность роста волос, наблюдавшаяся у взрослых животных ([4]), в такой же мере наблюдается и в сформировавшихся волосах у плода. Однако во времени их появления имеются расхождения в 1—3 дня, зависящие от местонахождения и строения волоса (табл. 1).

Возникает вопрос, поступают ли вводимые серусодержащие соединения в кожу плода с кровотоком матери в неизмененном виде и метаболические превращения, необходимые для формирования кератина с их участием совершаются in situ, или эти процессы осуществляются в материнском организме. Первое предположение исключено для таких соединений, как сульфат натрия, сульфидин, тиамин, поскольку они образуют метку в шерсти плода только при даче их матери, а при непосредственном введении родившемуся ягненку, минуя материнский организм, не усваиваются им в процессе собственного метаболизма ([4]). Следовательно, образование метки у плода при введении указанных соединений получается в результате поступления специфических предшественников или серусодержащих аминокислот в готовом виде. Подобие у матери и плода формы и интенсивности меток, образованных рядом испытанных препаратов, также заставляет думать, что предшественники кератина образуются в материнском организме, а затем током крови распределяются между матерью и плодом.

Итак, с помощью радиоактивных меток, образованных на шерсти плодов овец в результате дачи матери во время суягности различных соединений, содержащих S^{35} (метионин, сульфат натрия и бария, тиамин, сульфидин), показано, что у плодов романовских, курдючных и тонкорунных овец шерсть появляется за 40—43 дня до рождения. Скорость роста волоса не одинакова у плодов овец разных пород и в разные периоды развития шерстного покрова: она ниже в начале образования волоса и выше перед рождением и в период молочного вскармливания.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт животноводства

Поступило
1 VIII 1960

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] А. Л. Падучева. Докл. Всесоюзн. Акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина, № 5 (1957). [2] М. И. Вощинский, Шерстяное дело, № 5—6 (1924). [3] И. Н. Дьячков, Л. Д. Мухамедова и др., Тр. Всесоюзн. инст. каракулеводства, № 4 (1950). [4] А. Л. Падучева, Тр. Всесоюзн. инст. животноводства, 21 (1957). [5] А. Л. Падучева, Овцеводство, № 9 (1957).